



TESIS - TE142599

**SISTEM KOMUNIKASI DATA PADA BAND
ULTRA HIGH FREQUENCY (UHF)
MENGUNAKAN PROTOKOL AX-25 UNTUK
*TSUNAMI EARLY WARNING SYSTEM***

MIRANTY
2214206002

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA
Dr. Ir. Endroyono, DEA

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM PENGATURAN
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



TESIS - TE142599

**SISTEM KOMUNIKASI DATA PADA BAND
ULTRA HIGH FREQUENCY (UHF)
MENGUNAKAN PROTOKOL AX-25 UNTUK
*TSUNAMI EARLY WARNING SYSTEM***

MIRANTY
2214206002

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA
Dr. Ir. Endroyono, DEA.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TELEMATIKA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Miranty
2214206002

Tanggal Ujian : 6 Januari 2017
Periode Wisuda : Maret 2017

Disetujui oleh:

1. Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA (Pembimbing I)
NIP. 196510141990021001
2. Dr. Ir. Endroyono, DEA (Pembimbing II)
NIP. 196504041991021001
3. Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho, ST., MT. (Penguji)
NIP. 197003131995121001
4. Dr. Istas Pratomo, ST. MT. (Penguji)
NIP. 197903252003121001
5. Dr. Diali Puspito Wulandari, ST., M.Sc (Penguji)
NIP. 198012192005012001

an. Direktur Program Pascasarjana
Asisten Direktur



Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng.
NIP. 196110211986031001

Direktur Program Pascasarjana,

Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D
NIP. 196012021987 011001

[Halaman ini Sengaja Dikosongkan]

To My Parents, Dr. Drs.Saparuddin, M.Kes and Rahmawati A
who always love me, pray for me, support me no matter what happen...
To My Beloved Alm. Hj. Derhana A. Rustam and Alm. Hj. Halida
who always pray for me 'till the end of the time...

[Halaman ini Sengaja Dikosongkan]

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan tesis saya dengan judul “**SISTEM KOMUNIKASI DATA PADA BAND *ULTRA HIGH FREQUENCY* (UHF) MENGGUNAKAN PROTOKOL AX-25 UNTUK *TSUNAMI EARLY WARNING SYSTEM***” adalah benar hasil karya intelektual mandiri, disesuaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2017

Miranty

2214206002

[Halaman ini Sengaja Dikosongkan]

SISTEM KOMUNIKASI DATA PADA BAND *ULTRA HIGH FREQUENCY* (UHF) MENGGUNAKAN PROTOKOL AX-25 UNTUK *TSUNAMI EARLY WARNING SYSTEM*

Nama Mahasiswa : Miranty
NRP : 2214206002
Pembimbing : 1. Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA
2. Dr. Ir. Endroyono, DEA

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara yang terletak di antara dua lempeng benua sangatlah rentan terhadap bahaya gempa bumi. Sebagian besar gempa yang terjadi di Indonesia berasal dari gempa di dasar laut dengan kekuatan gempa berskala cukup besar sehingga dapat berpotensi menghasilkan tsunami. *Tsunami Early Warning System* yang telah diaplikasikan pada beberapa daerah di Indonesia tergolong kompleks pada sistem komunikasi datanya. Sehingga, melalui penelitian ini dirancang sebuah sistem komunikasi data menggunakan gelombang radio *Ultra High Frequency*, serta menerapkan protokol AX-25 sebagai protokol yang digunakan.

Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah system buoy dengan gelombang *Ultra High Frequency* dan daya 2,4 Watt dapat mengirimkan data ketinggian gelombang dengan jarak 4,28 km dengan pada kondisi *Line of Sight* (LOS) dengan resolusi hingga 1,5 cm. Jarak yang lebih jauh dapat dilakukan dengan penambahan daya pemancar. Protokol AX-25 dapat mengenkapsulasi data pembacaan sensor sebelum ditransmisikan dan mendekapsulasikan kembali data tersebut setelah sampai di penerima. Pada pengujian BER untuk jarak 3 km diperoleh nilai error sebesar 0,0069.

Kata Kunci : *Protokol AX-25, Tsunami Early Warning System, Ultra High Frequency,*

[Halaman ini Sengaja Dikosongkan]

DATA COMMUNICATION SYSTEM ON ULTRA HIGH FREQUENCY (UHF) BAND USING AX-25 PROTOCOL FOR TSUNAMI EARLY WARNING SYSTEM

By : Miranty
Student Identity Number : 2214206002
Supervisor(s) : 1. Dr.Ir. Achmad Affandi, DEA
2. Dr.Ir. Endroyono, DEA

ABSTRACT

Indonesia is a country that lies between the two continental plates. This makes Indonesia extremely vulnerable to earthquake hazard. Most of the earthquakes that occurred in Indonesia comes from the earthquakes that occurring below ocean with a large enough magnitude scale so it can potentially generate tsunami. Tsunami Early Warning System which has been applied to several areas in Indonesia is considered complex on communication data system. Therefore, through this research will be designed a communication data system using radio wave by applying AX-25 protocol as the protocol.

The results that obtained in this research is the buoy system with Ultra High Frequency waves and 2,4 Watt power can transmit simulated sea wave heights data with a distance of 4,28 km on the condition of Line of Sight (LOS) with 1,5 cm resolution. The longer distance can be accomplished by the addition of transmitter power. The AX-25 protocol can encapsulates the sensor data before being transmitted and decapsulated it's back after arriving at the receiver. On BER test for a distance of 3 km, we obtained 0,0069 error value.

Keyword : AX-25 Protocol, *Tsunami Early Warning System*, *Ultra High Frequency*

[Halaman ini Sengaja Dikosongkan]

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji syukur penulis ungkapkan tiada henti kepada Allah S.W.T, yang hanya karena rahmat dan karuniaNya, penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul “**Sistem Komunikasi Data Pada Band *Ultra High Frequency* (UHF) Menggunakan Protokol AX-25 Untuk *Tsunami Early Warning System*”**”

Dengan segala kerendahan hati, penulis mempersembahkan tulisan ini kepada ayahanda tercinta **Dr.Drs. Saparuddin Syam, M.Kes** dan kepada Ibunda tercinta **Rahmawati Abdullah** yang tak pernah lelah mencurahkan kasih sayang dan cintanya kepada penulis, memberikan dukungan semangat dan do'a yang tak henti-henti. Juga adikku **Nur Qalby, S.KM** yang memberikan dukungan semangat dan do'a agar penulis makin terpacu untuk menyelesaikan studi.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya dan penghargaan yang setinggi-tingginya penulis sampaikan kepada yang terhormat Bapak **Dr.Ir. Achmad Affandi, DEA** dan Bapak **Dr.Ir. Endroyono, DEA** selaku Dosen Pembimbing Pertama dan Dosen Pembimbing Kedua penulis. Yang senantiasa sabar serta bersedia meluangkan waktu membimbing penulis. Yang tak henti memberikan ilmu pengetahuan, saran perbaikan, serta dorongan semangat selama membimbing penulis mengerjakan tesis.

Keberhasilan dari penyusunan tesis ini tidak lepas dari dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak **Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho, ST., MT.**, Bapak **Dr. Istas Pratomo, ST. MT.**, serta Ibu **Dr. Diah Puspito Wulandari, ST., M.Sc** selaku Dosen Penguji, yang berkenan meluangkan waktu menguji dan juga memberikan saran perbaikan terhadap tesis yang penulis kerjakan.
2. Bapak **Dr.Surya Sumpeno, ST, M.Sc** selaku Dosen Pembimbing Akademik atas arahan juga bimbingannya hingga penulis dapat menyelesaikan studi dan tesis ini.

3. Bapak **Dr. Adhi Dharma Wibawa, ST, MT**, selaku Koordinator Bidang Keahlian Telematika Jurusan Teknik Elektro, atas arahan, bimbingan dan motivasinya dalam menyelesaikan studi dan tesis ini.
4. Bapak dan Ibu **Dosen Bidang Keahlian Telematika Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS** yang telah membagi ilmu pengetahuan kepada penulis dalam kegiatan perkuliahan maupun diskusi di luar perkuliahan.
5. Staff **Tata Usaha Pascasarjana Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS** yang telah membantu kelancaran pengurusan administrasi perkuliahan dan penyelesaian tesis ini.
6. Bapak **Dr. Ir. Mochammad Rameli** dan Bapak **Ir. Rusdhiyanto Effendie A.K.,MT.** atas dorongan semangat serta do'a untuk penulis.
7. Om dan Tante penulis, **Hi. Syamsul Bachri, M.Sc, Mufti Abdullah, S.Sos, Rustam M., B.Sc** dan **(Alm.)Hj. Derhana A. Rustam**, serta **Muhajirin, SH** dan **Farida** yang juga tak kenal lelah memberikan dorongan semangat hingga akhirnya penulis bisa menyelesaikan studi ini.
8. Kakak-kakakku, yang telah memberikan begitu banyak dukungan doa dan semangat untuk tidak pernah putus asa apapun yang terjadi, **Novita Pradani, Bambang Supriatna, Dewy Fitriayuni, Riki Hidayat, Angela Hidayat, Astria Syam** serta **Farhat Faruzi**.
9. Adik-adikku, **De Aqsha, Ari** dan **Ichi, Ian, Gamal, Reifan, Eka Pratiwi, Jae, Arif, Dian, Aidil, Andi, Rahmi, Rio**, juga **Zadiq**. Terima kasih atas dukungan semangat dan keceriaan yang membuat penulis dapat menghilangkan penat di saat yang sulit.
10. **Azka, Aqilah, Zyra, Zafran, Kirana**, serta **Zajil** yang selalu menjadi salah satu motivasi penulis untuk segera menyelesaikan studi.
11. **Fahrul, ST., MT.**, atas kesabaran, bantuan, dukungan semangat serta doa yang tiada henti untuk penulis. Terima Kasih untuk *selalu ada* disaat penulis membutuhkan.

12. **Muh. Aristo Indrajaya, ST., MT., Yoga Alif Kurnia Utama, S.ST., MT., Leonard A. Onsik, ST., Eriek Aristya Pradana Putra, ST., MT., Irwan Mahmudi, ST., MT, dan Kusuma Angga Putra, ST** atas bantuan yang diberikan kepada penulis selama penulis mengerjakan tesis.
13. Bapak **Ir. Agoes Santoso M.Sc., MPhil., CEng., FIMarEST, MRINA** dan Ibu **Wahyu Iriani SH**, yang telah menjadi orang tua penulis di tanah rantau. Terima Kasih banyak atas kebaikan, doa dan semangat yang diberikan kepada penulis selama ini. Bapak **Ir.Dwiatmono Agus Widodo, M.IKom** dan Ibu **Dra. Sri Puri Surjandari, M.Si** yang juga telah menjadi orang tua penulis di tanah rantau. Terima kasih banyak atas kebaikan, doa dan semangat yang diberikan kepada penulis disaat-saat terburuk penulis dan bantuan yang tak ada habisnya disaat penulis membutuhkan.
14. Bapak **Abbas** dan Ibu **Fatmawati** yang telah penulis repotkan selama pengerjaan dan pengambilan data tesis. Terima kasih banyak atas pengertian juga doanya hingga penulis bisa menyelesaikan pendidikan penulis.
15. **Pihak Stasiun BMKG Meteorologi Klas II Mutiara Palu, dan Pihak Stasiun Meteorologi Maritim Perak II Surabaya** atas bantuannya mendapatkan data yang sangat berguna untuk pengerjaan tesis penulis.
16. Dosen serta Laboran Jurusan Teknik Mesin Universitas Tadulako, Bapak **Hidayat, A.Md**, Laboran Jurusan Teknik Elektro Universitas Tadulako, Bapak **Firmansyam, A.Md**, Ibu **A.Fatmawati, ST.**, Ibu **Lutfiyana A.Anshar, A.Md**, serta Ibu **Jumiyatun, S.ST., MT.** Terima kasih banyak atas bantuan yang sangat berarti untuk penulis.
17. Adik-adik Mahasiswa Teknik Mesin, **Moh. Rfig, Ahmad Nur Kholis, Afif Pandu Setiawan, Wahyu Ricard Nugraha, Ireng Shandy, Satria Mbotengu, dan Brian** yang sudah meluangkan waktunya membantu pengerjaan tesis hingga selesai.

18. Warga Desa Meli, Kecamatan Balaesang, Kabupaten Donggala, Sulawesi Tengah, yang telah banyak membantu penulis selama pengujian dan pengambilan data.
19. Rekan-rekan di **UPT. TIK Universitas Tadulako** yang memberi dukungan kepada penulis untuk melanjutkan pendidikan.
20. Teman-teman Teknik Elektro 2008 Universitas Tadulako, **Ical, Abang Aldy, Rahmat, Randi, Mahyu, Undhink, Elias, Ai, Hilman, Juan, Asrul, Wayan, Amir, Anto', Awal, Budi, Indy, Hery, Ardhie, Anggi', Rudi, Kiel, Lukas, Gusti, Edy, Dicky, Nuel, Fanny, Irwan, dan Takdir.**
21. Teman-teman **Telematika dan CIO 2013, 2014, dan 2015**
22. **Dini Yayuk Septiani, Nurul Handayani, Marisa Legrisca, Nur'Afni, Ajeng Listianti, Afrini Alfitri, Devi Githayana, Ira Musfira, Kak Yenni Triana dan Raziyan Dwi Pathan.** Terima Kasih atas do'a juga semangatnya.
23. Teman-teman seperjuangan yang layak nya saudara sendiri di kampus perjuangan, **Rizqa, Febrina Silalahi, Ninda, Ika, Ve, Mbak Mis...**
Teman-teman dari UHT, **Fiya, Wulan, Anny dan Grace.** Terima kasih atas segala bantuan, dukungan dan doa yang diberikan kepada penulis.

Dan seluruh pihak yang telah berjasa yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, atas segala bantuan, doa, motivasi serta berbagai dukungan moril dan materi yang tulus diberikan untuk penulis. Semoga ALLAH SWT. memberikan balasan yang lebih baik kelak. Dalam penyusunan Tesis ini, tentu saja penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan serta kekeliruan. Semua ini penulis sadari sebagai salah satu keterbatasan kemampuan penulis, olehnya penulis harapkan saran dan kritik yang konstruktif. Akhir kata, semoga Tesis ini bermanfaat semua pihak dan kemajuan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan	5
1.5. Manfaat	5
1.6. Metodologi	5
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	7
2.1 Gelombang Laut.....	7
2.1.1 Gelombang Pasang Surut.....	7
2.1.2 Gelombang Tsunami.....	8
2.2 Sistem Peringatan Dini Tsunami (Tsunami Early Warning Sistem)	10
2.2.1 Sistem Pendeteksi Tsunami	13
2.3 Accelerometer	15
2.4 Magnetic Level Gauge	16
2.5 Gelombang Radio (Radio Wave) [9]	17
2.6 Komunikasi Data [20].....	18
2.7 Protokol Radio AX-25 [2]	19
2.8 Link Budget	22
2.9 Kajian Pustaka	23
BAB 3 METODE PENELITIAN	31
3.1 Desain Sistem.....	32
3.1.1 Desain Sistem Hardware.....	33
3.1.2 Desain Sistem Software	51
3.2 Pengujian Komunikasi Data Transmitter dan Receiver	55
3.3 Proses Kalibrasi Data Sensor	55
3.4 Pengambilan Data	56
3.5 Flowchart Transmitter dan Receiver.....	57
3.6 Pengambilan Keputusan pada Tsunami Early Warning System.....	59
3.7 Analisis Kinerja Sistem.....	60
3.7. 1 Link Budget	60
3.7.2 Radio Horizon.....	61

3.7.3 Uji Bit Error Rate (BER).....	61
3.7.4 Konsumsi Daya Baterai	62
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	63
4.1 Realisasi Sistem	63
4.1.1 Sistem Hardware	64
4.1.2 Sistem Software.....	66
4.2 Hasil Pengujian Komunikasi Data	66
4.3 Hasil Pengambilan Data.....	72
4.3.1 Dekapsulasi Data.....	72
4.3.2 Data Desimal	73
4.3.3 Data Hasil Kalibrasi	73
4.3.4 Data Gelombang.....	74
4.4 Link Budget	77
4.5 Radio Horizon.....	78
4.6 Uji Bit Error Rate (BER)	79
4.7 Konsumsi Daya Baterai	86
4.8 Pembahasan	87
BAB 5 PENUTUP	89
5.1 Kesimpulan	89
5.2 Saran	89
DAFTAR PUSTAKA.....	91
LAMPIRAN	93
1. Data Ketinggian Gelombang Laut Periode Tahun 2010 – 2015	93
2. Data Prakiraan Pasang Surut Air Laut Pantoloan 2016.....	99
3. Listing Program Tranceiver Pada Buoy	105
4. Listing Program Tranceiver Di Daratan	108
5. Listing Program Tampilan Interface.....	109
6. Contoh Tampilan Hasil Pengujian.....	113
7. Skema Rangkaian	127
RIWAYAT HIDUP	129

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Daerah Rawan Tsunami di Indonesia.....	9
Gambar 2.2 Flowchart Tsunami Warning System milik NOAA.....	11
Gambar 2.3 Buoy padaTsunami Early Warning System milik NOAA [22]	12
Gambar 2.4 Tsunami Early Warning System milik GITEWS.....	13
Gambar 2.5 Modul sensor accelerometer	15
Gambar 2.6 Magnetic Level Gauge [17]	16
Gambar 2.7 Model Sebuah Komunikasi Data Sederhana.....	19
Gambar 2.8 Keadaan Protokol AX.25 untuk multi link	20
Gambar 2.9 Konstruksi I Frame.....	21
Gambar 2.10 Konstruksi S dan U Frame	21
Gambar 2.11 <i>Overview</i> dari sistem sensor GITEWS.....	24
Gambar 2.12 Observatory CYCOFOS yang telah ada	25
Gambar 2.13 Tsunami Buoy milik NIOT	26
Gambar 2.14 Cara kerja Tsunami Buoy milik NIOT.....	27
Gambar 2.15 <i>Accoustic Tide Gauge</i> yang dipasang di Pelabuhan Vizihijam , Kerala.....	28
Gambar 2.16 Sistem Pendeteksi Tsunami GPS di Ofunato	29
Gambar 3.1 Diagram alir proses penelitian	31
Gambar 3.2 Desain sistem secara keseluruhan	32
Gambar 3.3 Desain rancangan sistem <i>buoy</i>	34
Gambar 3.4 Pencetakan bagian atas buoy menggunakan tanah liat	36
Gambar 3.5 Bagian bawah buoy setelah dilepas dari cetakan	37
Gambar 3.6 Buoy setelah didempul dan dihaluskan.....	37
Gambar 3.7 Buoy setelah melalui proses pengecatan.....	38
Gambar 3.8 Buoy yang telah terpasang aksesoris dan tiang antenna	39
Gambar 3.9 Proses pengujian daya apung dan kebocoran buoy	39
Gambar 3.10 Buoy yang telah terintegrasi.....	40
Gambar 3.11 Modul sensor <i>Accelerometer</i>	40
Gambar 3.12 Skema rangkaian sensor magnetic level gauge	42
Gambar 3.13 (a) pembagi tegangan (bagian statis); (b) permanent magnet (bagian dinamis).....	43
Gambar 3.14 Modul Arduino UNO	44
Gambar 3.15 Modul <i>Transceiver</i> AC4490-200	45
Gambar 3.16 Pilihan konfigurasi	48
Gambar 3.17 Overview client dan server.....	48
Gambar 3.18 <i>Client</i> dan <i>Server</i> Configuration.	49
Gambar 3.19 Antenna 7" MMCX S467FL-5-RMM-915	50
Gambar 3.20 Desain hardware sistem buoy.....	51
Gambar 3.21 Desain hardware sistem penerima di darat.....	51
Gambar 3.22 Struktur frame AX25.....	52
Gambar 3.23 Diagram alir AX-25 pada sistem transmitter	53
Gambar 3.24 Diagram alir AX-25 sistem receiver	54
Gambar 3.25 Tampilan interface pada sistem receiver.....	55

Gambar 3.26 Gelombang Maksimum Rata-Rata Tahun 2010-2015 Untuk Versi Bulan Januari.....	56
Gambar 3.27 Diagram Alir Sistem Buoy (Transmitter)	57
Gambar 3.28 Diagram Alir Sistem Darat (Receiver)	58
Gambar 3.29 Diagram alir dari proses pengambilan keputusan warning system	60
Gambar 4.1 Desain Buoy.....	63
Gambar 4.2 Realisasi sistem Buoy	64
Gambar 4.3 Realisasi sistem hardware penerima di darat.....	65
Gambar 4.4 Antenna penerima sistem di darat.....	65
Gambar 4.5 Peta lokasi penelitian	67
Gambar 4.6 Grafik pasang surut 19 s/d 20 Desember 2016 (24 jam)	71
Gambar 4.7 Grafik pasang surut 27 s/d 29 Desember 2016 (56 jam)	71
Gambar 4.8 Dekapsulasi data	72
Gambar 4.9 Data desimal hasil dekapsulasi	73
Gambar 4.10 Data desimal menjadi data dalam satuan sebenarnya	74
Gambar 4.11 Data gelombang terukur pada sumbu X Y Z	75
Gambar 4.12 Data gelombang sumbu Y (hijau) untuk dianalisis.....	75
Gambar 4.13 Hasil plot data referensi	80
Gambar 4.14 Plot data pada jarak transmisi 0.5 Km	81
Gambar 4.15 Plot data pada jarak transmisi 1 Km	81
Gambar 4.16 Plot data pada jarak transmisi 1.5 Km	82
Gambar 4.17 Plot data pada jarak transmisi 2 Km	83
Gambar 4.18 Plot data pada jarak transmisi 2.5 Km	83
Gambar 4.19 Plot data pada jarak transmisi 3 Km	84
Gambar 4.20 Grafik Error untuk 7 paket data (1001 bit)	86

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spektrum radio [9]	18
Tabel 3.1 Spesifikasi DT-Sense 3 Axis Accelerometer	41
Tabel 3.2 Spesifikasi modul Arduino UNO	44
Tabel 3.3 Spesifikasi modul <i>Transceiver</i> AC4490-200	46
Tabel 3.4 Spesifikasi Antenna 7" MMCX S467FL-5-RMM-915	50
Tabel 3.5 Tabel Ketinggian Maksimum Wind Wave	59
Tabel 4.1 Hasil Pengujian 19 s/d 20 Desember 2016 (24 jam)	68
Tabel 4.2 Hasil Pengujian 27 Desember 2016 (24 jam)	69
Tabel 4.3 Hasil Pengujian 28 Desember 2016 (24 jam)	69
Tabel 4.4 Hasil Pengujian 29 Desember 2016 (8 jam)	70
Tabel 4.5 Variasi Tinggi Antena Terhadap Radio Horizon	79
Tabel 4.6 Tabel Hasil Uji Bit Error Rate	85

[Halaman ini Sengaja Dikosongkan]

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang terletak di antara dua lempeng benua, sangat rentan terhadap bahaya gempa bumi. Bencana gempa bumi bukan hanya menyebabkan kerusakan bangunan dan infrastruktur, tetapi juga menimbulkan korban jiwa, lebih dari pada itu, gempa bumi berskala besar yang berpusat di bawah laut dan juga berada di daerah patahan vertical dapat mengakibatkan terjadinya tsunami yang berupa gelombang laut yang akan menyapu seluruh daratan yang dilaluinya. Jumlah korban yang diakibatkan oleh tsunami dapat menjadi besar, hal ini diakibatkan oleh warga yang tinggal di pesisir pantai tidak mengetahui akan datangnya gelombang tsunami tersebut.

Menurut [6], hingga saat ini belum ada *early warning system* di dunia yang secara konstan dapat memonitor seluruh laut, yang mana dapat digunakan untuk menemukan dan melacak tsunami. Sistem yang dikenal dengan nama GITEWS (German-Indonesia Tsunami Early Warning System) telah dipasang sejak tahun 2008 dan sedang dalam fase pengujian final. Sejumlah sensor-sensor *network* telah dipasang sepanjang *trench* Sunda dan di seluruh bagian Indonesia. *Network* ini dihubungkan oleh satelit komunikasi dengan *Warning Center* di Jakarta.

Berdasarkan sensor seismik, pusat gempa dapat ditentukan lokasinya dengan cepat, tetapi tidak dapat memberikan informasi langsung apakah tsunami telah terbentuk atau tidak. Oleh karena itu, permukaan laut haruslah dipantau dengan sensor tekanan, pelampung dan tide gauge untuk mendeteksi tanda-tanda gelombang tsunami. Radar Altimeter (RA) satelit tidak bisa menyediakan data cakupan spasial dan temporal, data tersebut tidak dapat ditransmisikan dengan segera seperti yang disyaratkan untuk tsunami early warning system.

GNSS-R (*Global Navigation Satellite System – Reflectometry*) merupakan metode yang tepat untuk altimetri permukaan laut dan juga pendeteksian tsunami dari

luar angkasa, terutama saat menggunakan sebuah konstelasi LEO (*Low Earth Orbit*) . Altimetri adalah pengamatan topografi dan dinamika permukaan laut.

Hasil yang dicapai dari simulasi yang dilakukan adalah GNSS-R dianggap pelengkap yang berarti untuk tsunami early warning system yang berbasis di darat. Simulasi penelitian menunjukkan bahwa tsunami dengan *magnitude* yang dapat dibandingkan bisa dideteksi dengan bantuan konstelasi LEO GNSS-R Walker di Samudera Hindia dan juga di laut Mediterania. Akan tetapi, pendeteksian di laut Mediterania hanya memungkinkan setelah 30 menit. Hal ini disebabkan pada saat pengujian, ketinggian gelombang tidaklah cukup tinggi [19].

Di daratan negara Cyprus, potensial kerusakan akibat tsunami yang dihasilkan oleh pergerakan seismik sangatlah signifikan, hal ini ditunjukkan oleh catatan sejarah dan studi statistik terbaru. Tingginya kepadatan penduduk dan infrastruktur di daerah pesisir membuat sistem pendeteksi dan pemberi peringatan tsunami yang *real time* dan handal menjadi sangat penting. Saat ini, di belahan bumi lain, pendeteksian tsunami dicapai dengan BPR (Bottom Pressure Recorder) yang mahal, yang mana BPR ini sulit dan memakan biaya untuk pemeliharaan dan bergantung pada modem telemetry yang mahal dan sangat sulit mengirimkan sinyalnya dari tempat yang sangat dalam. Teknik lain yang diimplementasikan di Jepang adalah menggunakan GPS untuk mengukur perpindahan sebuah pelampung (buoy) secara vertikal yang ditambahkan dekat pantai bersama mercusuar (beacon).

Infrastruktur komponen lepas pantai dari CYCOFOS (Cyprus Coastal Ocean Forecasting and Observing System) yang sudah ada terdiri dari sebuah permukaan pelampung yang ditambahkan pada instrumen di dasar laut dengan melalui kabel yang mengandung konduktor listrik dan serat optik untuk transmisi data [7].

Sistem Peringatan Tsunami di India dibentuk oleh NIOT (*Nation Institute of Ocean Technology*), Chennai, Departemen *Earth Science* (Ilmu Bumi), Pemerintah India. Sistem Peringatan Tsunami ini terdiri dari data buoy (pelampung) dengan BPR di dasar laut yang dalam dan *Acoustic Tide Gauge Network* di area pesisir pantai. BPR memberikan peringatan mengenai gangguan apapun di dasar laut. *Tide gauge* di

dekat lokasi gempa mengkonfirmasi terjadinya gelombang tsunami. Informasi dari *accoustic tide gauge* akan membantu untuk memprediksi dampak tsunami di daerah pesisir pantai [23].

Sistem Tsunami Buoy di India terdiri dari dua unit, sebuah buoy di permukaan air laut dan BPR. Komunikasi antara BPR dan buoy di permukaan diwujudkan melalui modem *accoustic* dan buoy di permukaan air laut menggunakan satelit untuk mengkomunikasikan nilai-nilai yang tercatat ke stasiun yang berada di pesisir pantai.

Pada kondisi normal, BPR mengukur tekanan setiap 15 detik dan mengkomunikasikan data berupa nilai rata-rata ketinggian air ke pelampung di permukaan setiap jam yang dibagi menjadi 4 kali 15 menit. *Buoy* di permukaan pada akhirnya mengirimkan data ke stasiun di pesisir pantai.

Sedangkan pada saat terjadi tsunami, BPR akan mengukur tekanan mengkomunikasikan nilai ketinggian air setiap 5 menit yang dibagi menjadi 10 kali 30 detik. *Buoy* di permukaan mengirimkan data ke stasiun di pesisir pantai setiap 5 menit selama 3 jam [11].

Di Jepang, salah satu penanggulangan paling efektif terhadap bencana tsunami adalah mendeteksi tsunami sebelum tiba di pantai dan memberikan peringatan kepada seluruh penduduk yang tinggal di pesisir pantai. Sejumlah sistem pemantau tsunami lepas pantai telah dikembangkan, yang diantaranya menggunakan BPR yang telah secara luas digunakan untuk tujuan ini. Sebuah metode baru sistem pemantau tsunami menggunakan *buoy* GPS telah dikembangkan selama 12 tahun. Teknologi yang digunakan adalah RTK GPS (*Real-time Kinematic*). *Buoy* GPS lebih mudah ditangani dan lebih mudah pemeliharaannya dibandingkan sensor bawah laut, meskipun sensitivitasnya sedikit lebih rendah dibandingkan dengan sensor bawah laut.

Sebagai ruang lingkup masa depan, ada beberapa fasilitas tambahan yang rencananya akan diimplementasikan pada sistem *buoy* GPS. Aplikasi pertama adalah apa yang disebut dengan GPS/Acoustic untuk memonitor deformasi (perubahan bentuk) kerak bumi di dasar laut. Rencana kedua adalah aplikasi untuk penelitian mengenai atmosfer melalui perkiraan *delay* puncak troposfer.

Sistem pendeteksi tsunami menggunakan RTK-GPS yang berfungsi untuk memonitor *platform* bergerak secara *realtime* dengan akurasi beberapa sentimeter berdasarkan posisi relatif. Apabila sebuah penerima GPS ditempatkan pada sebuah *buoy* yang stabil di laut dan data dikirimkan ke stasiun di darat untuk analisis RTK, variasi dari permukaan laut dibandingkan dengan lokasi yang stabil di daratan [21].

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada subbab latar belakang, bahwa desain *Tsunami EWS (Early Warning System)* yang telah ada menggunakan *BPR (Bottom Pressure Recorder)* sebagai sensor pendeteksi tsunami dan satelit untuk media komunikasi data antara sistem sensor pendeteksi pada *buoy* dengan stasiun di darat. Penggunaan kedua sistem tersebut masih terbatas, karena mahal biaya. Mahalnya biaya untuk *Tsunami EWS* dengan menggunakan *BPR* dan Satelit, mengakibatkan hanya daerah-daerah tertentu yang telah diseleksi secara teliti untuk dipasang *Tsunami EWS*. Selain itu sistem yang ada, belum menggunakan pendeteksi fenomena laju pasang surut air laut sebagai salah satu tanda pasti akan terjadinya *tsunami*.

Oleh karena itu, penelitian ini menerapkan penggunaan *accelerometer* sebagai sensor untuk mendeteksi dan memonitor akselerasi pergerakan gelombang laut baik yang disebabkan oleh angin (*wind wave*) maupun tsunami. Gelombang radio UHF (*Ultra High Frequency*) menjadi media komunikasi data antara sensor pendeteksi pada *buoy* dengan stasiun di darat. Sedangkan untuk mendeteksi fenomena laju pasang surut air laut, pada penelitian ini menggunakan sensor *float magnetic level gauge*.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini, pembahasan dalam ruang lingkup perancangan sistem komunikasi data pada band UHF (*Ultra High Frequency*) menggunakan protokol AX-25 untuk *Tsunami EWS (Early Warning System)* dengan pengujian sistem yang dilakukan di perairan Selat Makassar, Kabupaten Donggala Sulawesi Tengah.

1.4. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang sebuah sistem komunikasi pada *Tsunami EWS (Early Warning System)* menggunakan band UHF (*Ultra High Frequency*) dengan protokol AX-25, memanfaatkan *accelerometer* sebagai sensor pendeteksi sekaligus memonitor akselerasi pergerakan gelombang laut, dan sensor float magnetic level gauge untuk mendeteksi fenomena laju pasang surut air laut sebagai salah satu tanda pasti akan terjadinya tsunami.

1.5. Manfaat

Manfaat yang ingin dicapai yaitu penelitian ini dapat memberikan kontribusi ilmiah berupa sebuah sistem pendeteksi tsunami yang berbudget rendah namun menghasilkan kualitas data mitigasi sama baiknya dengan sistem yang telah ada. Selain itu, penerapan sistem pendeteksi tsunami dengan media komunikasi data menggunakan gelombang radio UHF serta sensor *accelerometer* dan *magnetic level gauge* diharapkan menjadi kontribusi baru pada desain *Tsunami EWS (Early Warning System)*.

1.6. Metodologi

Proses pengerjaan penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, yaitu studi literatur, perancangan sistem, pengujian dan analisis sistem dan penarikan kesimpulan.

- a. Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan dan mempelajari penelitian yang relevan dengan topik. Selain penelitian-penelitian yang relevan, referensi dari buku-buku yang membahas mengenai topik tsunami early warning system, gelombang radio UHF, komunikasi data juga digunakan.
- b. Perancangan Sistem dilakukan dengan merancang buoy serta sistem komunikasi data pada band Ultra High Frequency (UHF) menggunakan Protokol AX-25 untuk Tsunami Early Warning System.
- c. Pengujian dan Analisis Sistem dilakukan dengan pengujian pada desain buoy dan komunikasi data Tsunami Early Warning System yang telah dirancang.

- d. Kesimpulan diperoleh sesuai dengan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Gelombang Laut

2.1.1 Gelombang Pasang Surut

Fenomena pasang surut diartikan sebagai fenomena pergerakan naik turunnya air laut secara berkala yang diakibatkan oleh pengaruh dari kombinasi gaya gravitasi [14] dari benda-benda astronomis terutama matahari dan bulan serta gaya sentrifugal bumi.

Puncak elevasi disebut pasang tinggi dan lembah elevasi disebut pasang rendah. Periode pasang surut (*Tidal Range*) adalah waktu antara puncak atau lembah gelombang ke puncak atau lembah gelombang berikutnya. Bumi berputar pada porosnya, maka pasang tinggi yang terjadi pun akan bergerak bergantian secara perlahan-lahan dari satu tempat ke tempat lain di permukaan bumi.

Bulan sebagai objek utama penyebab terjadinya pasang surut air laut, selain mengelilingi bumi juga mengelilingi matahari bersama bumi. Oleh karena orbit matahari dan bulan yang berbentuk oval, maka sistem jarak bumi-bulan-matahari selalu berubah-ubah[5].

Gerakan pasang juga bergantung pada bentuk dasar laut. Di tengah-tengah samudra pasang itu naik dan surut tiga puluh sampai enam puluh sentimeter. Tetapi di banyak pantai, perbedaan mungkin beberapa meter. Jenis pasang surut teridentifikasi sebagai bentuk pengaruh gravitasi bulan dan matahari serta gaya sentrifugal bumi secara langsung terhadap pergerakan air laut. Adapun tipe pasang surut biasanya dipengaruhi oleh faktor lokalitas laut secara khusus, sehingga membedakan karakter pasang surut antara satu tempat dengan tempat yang lain. Pasang Surut Air Laut terbagi menjadi

- a. Pasang purnama (*spring tide*) adalah pasang yang terjadi ketika bumi, bulan dan matahari berada dalam suatu garis lurus. Pada saat itu akan dihasilkan pasang tinggi yang sangat tinggi dan pasang rendah yang sangat rendah. Pasang surut

purnama ini terjadi pada saat bulan baru dan bulan purnama (konjungsi dan oposisi).

- b. Pasang perbani (*neap tide*) adalah pasang yang terjadi ketika bumi, bulan dan matahari membentuk sudut tegak lurus. Pada saat itu akan dihasilkan pasang tinggi yang rendah dan pasang rendah yang tinggi. Pasang surut perbani ini terjadi pada saat bulan 1/4 dan 3/4.

Tipe pasang-surut ditentukan oleh frekuensi air pasang dan surut setiap harinya. Ada empat tipe pasang surut sebagai klasifikasi-nya, yaitu:

- a. Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*) yaitu bila dalam sehari terjadi satu kali pasang dan satu kali surut. Biasanya terjadi di laut sekitar khatulistiwa. Periode pasang surut adalah 24 jam 50 menit.
- b. Pasang surut harian ganda (*Semi Diurnal Tide*) yaitu bila dalam sehari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut yang hampir sama tingginya.
- c. Pasang surut campuran condong harian tunggal (*Mixed Tide Prevailing Diurnal*) merupakan pasang yang tiap harinya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut tetapi terkadang dengan dua kali pasang dan dua kali surut yang sangat berbeda dalam tinggi dan waktu.
- d. Pasang surut campuran condong harian ganda (*Mixed Tide Prevailing Semi Diurnal*) merupakan pasang yang terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam sehari tetapi terkadang terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dengan memiliki tinggi dan waktu yang berbeda.

2.1.2 Gelombang Tsunami

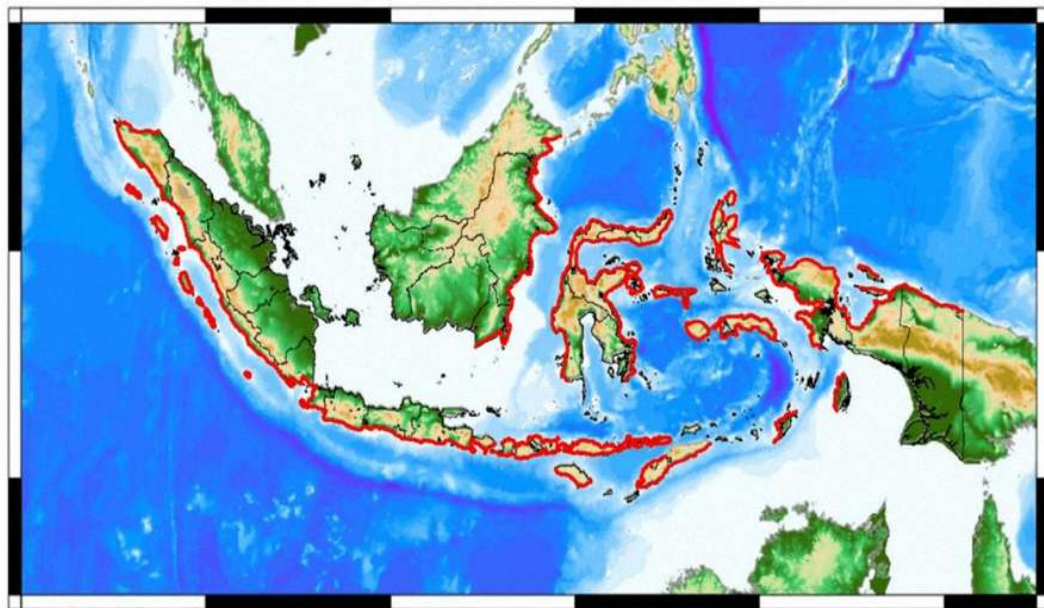
Tsunami adalah gelombang laut yang terjadi karena adanya gangguan impulsif pada laut. Gangguan impulsif tersebut terjadi akibat adanya perubahan bentuk dasar laut secara tiba-tiba dalam arah vertikal atau dalam arah horizontal. Perubahan tersebut disebabkan oleh tiga sumber utama, yaitu gempa tektonik, letusan gunung

api, atau longsor yang terjadi di dasar laut. Dari ketiga sumber tersebut, di Indonesia gempa tektonik di laut merupakan penyebab utama tsunami [3].

Gelombang tsunami yang terjadi akibat deformasi di dasar laut memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a. Memiliki panjang gelombang sekitar 100-200 km atau lebih.
- b. Memiliki perioda 10-60 menit
- c. Kecepatan perambatan gelombang bergantung pada kedalaman dasar laut.

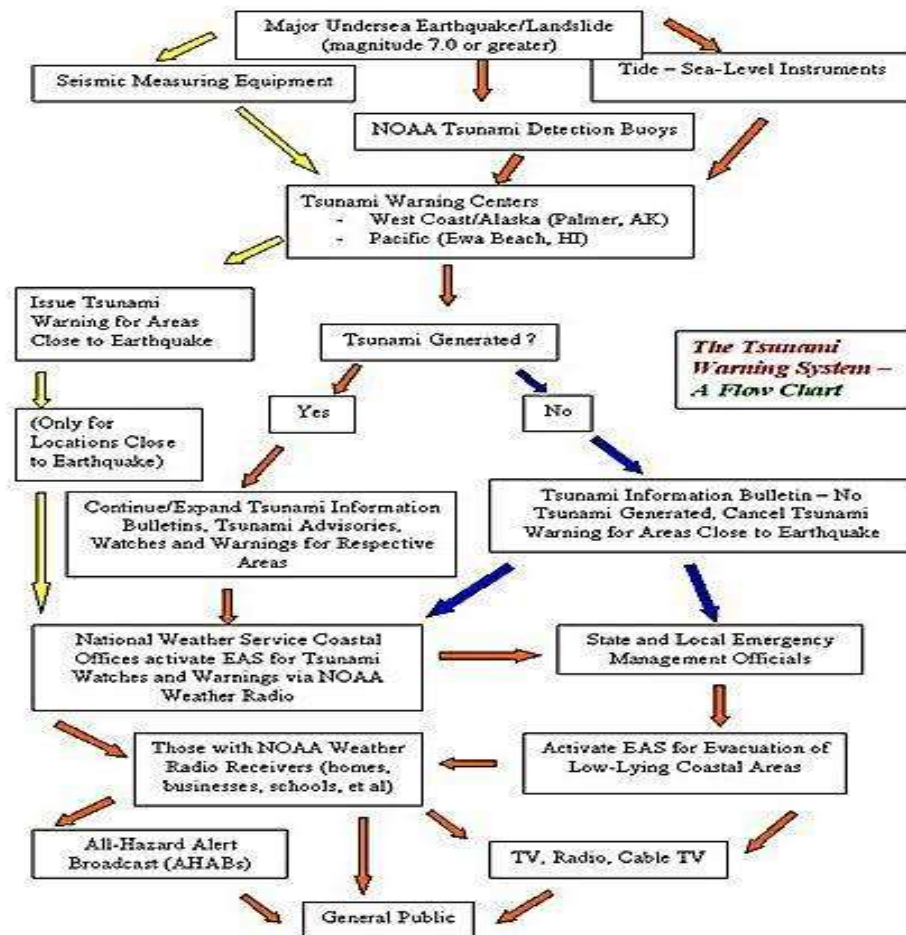
Indonesia merupakan negara yang rawan terhadap tsunami, terutama kepulauan yang berhadapan langsung dengan pertemuan lempeng Eurasia, Indo-Australia dan Pasifik, antara lain Bagian Barat Pulau Sumatera, bagian selatan Pulau Jawa, Nusa Tenggara, bagian utara Papua, Sulawesi dan Maluku, serta bagian timur Pulau Kalimantan seperti yang terlihat pada gambar 2.1. [3]



Gambar 2.1 Peta Daerah Rawan Tsunami di Indonesia

2.2 Sistem Peringatan Dini Tsunami (Tsunami Early Warning Sistem)

Flowchart dibawah ini adalah flowchart Tsunami Warning System milik NOAA. Pada saat terjadi gempa besar dengan magnitude 7.0 atau bahkan lebih besar atau pergeseran lempeng, 3 sistem milik NOAA, yaitu Seismic Measuring Equipment (pengukur aktivitas seismik di kerak bumi). NOAA Tsunami Detection Buoys (berupa Bottom Pressure Recorder yang dipasang di dasar laut), serta Tide-Sea Level Measurement (pengukur ketinggian gelombang) akan mengirimkan data ke Tsunami Warning Center. Tsunami Warning Center akan mengeluarkan informasi peringatan Tsunami hanya kepada daerah yang berada dekat dengan pusat gempa sembari menunggu informasi dari sensor apakah Tsunami telah terbentuk. Jika Tsunami tidak terbentuk, maka Tsunami Warning Center akan mengeluarkan pemberitahuan Tsunami Information Bulletin bahwa tidak terjadi tsunami dan membatalkan peringatan kepada daerah yang berada di dekat pusat gempa yang akan disebarkan oleh State and Local Emergency Management Official.

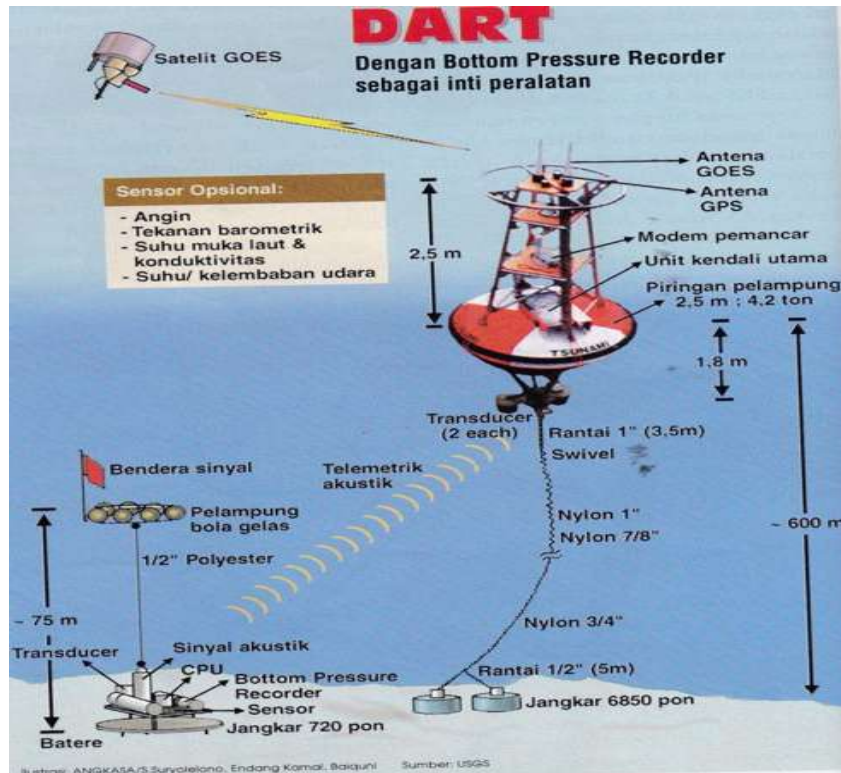


Gambar 2.2 Flowchart Tsunami Warning System milik NOAA

Namun sebaliknya, apabila terbentuk tsunami, maka Tsunami Warning Center akan melanjutkan Tsunami Information Bulletin mengenai Tsunami Advisories, Watches and Warnings kepada daerah terkait. Kemudian National Weather Service Coastal Office akan mengaktifkan EAS (Emergency Alert System) melalui NOAA Weather Radio yang akan menyiarkan informasi mengenai tsunami kepada semua yang memiliki NOAA Weather Radio Receivers (seperti rumah-rumah, kantor-kantor perusahaan, sekolah, dan lain-lain).

Sementara itu, State and Local Emergency Management Official akan mengaktifkan EAS (Emergency Alert System) untuk evakuasi di daerah dataran

rendah dekat pantai dan juga mengirimkan informasi peringatan Tsunami kepada TV, Radio, dan TV Kabel. Selain itu, AHABs (All Hazzard Alarm Broadcast) yang berupa Sirene dan Modular Speaker juga akan aktif. Kesemuanya akan membantu masyarakat umum untuk melakukan mitigasi bencana. [12]



Gambar 2.3 Buoy padaTsunami Early Warning System milik NOAA [22]

NOAA Tsunami Detection Buoys terdiri dari dua bagian: Bottom Pressure Recorder (BPR) di dasar laut dan bagian buoy di permukaan yang merupakan bagian elektronik. BPR memonitoring tekanan air dengan resolusi kurang lebih 1mm air laut dengan rata-rata sampel 15 detik. Data dikirimkan dari buoy melalui sebuah modem akustik. Pada kondisi normal (tidak ada tsunami), BPR mengirimkan data per jam yang terbagi menjadi 4 kali 15 menit dengan rata-rata 15 detik.

Sensor BPR ini didesain untuk dapat mendeteksi perubahan level air kurang dari 1 mm pada kedalaman 20.000 kaki (6000 meter) dikarenakan, perubahan

kedalaman air yang disebabkan oleh tsunami di laut lepas dapat berubah sekecil 0,4 inci (1 cm).

2.2.1 Sistem Pendeteksi Tsunami

Menurut NEAMTIC (*North-Eastern Atlantic Mediterranean Tsunami Information Center*), ada 3 (tiga) peralatan yang digunakan untuk mendeteksi tsunami. Yaitu: Seismometer, *Tide Gauge*, dan Tsunameter.



Gambar 2.4 Tsunami Early Warning System milik GITEWS

Seismometer menangkap getaran dan pergerakan seperti gempa bumi di kerak bumi. Ada ratusan real-time transmisi seismometer di seluruh dunia sedangkan yang RTWC (*Regional Tsunami Watch Centres*) berfokus pada network di daerah pengawasan mereka. Gempa bumi bawah laut yang kuat bisa memicu tsunami, tapi penilaian pertama ini berdasarkan data seismik yang perlu dikonfirmasi oleh pengukuran permukaan laut.

Sebuah alat pengukur air pasang (*Tide Gauge*) adalah sebuah perangkat yang mengukur permukaan laut di lokasi tertentu. Pada umumnya terletak di pelabuhan

dan terkadang dikombinasikan dengan stasiun GPS. Instrumen ini juga digunakan untuk mengukur pasang untuk shipping atau kenaikan permukaan laut jangka panjang untuk prediksi iklim.

Sebuah tsunameter biasanya adalah sebuah sistem pelampung laut lepas dengan sensor tekanan di dasar laut yang mampu mendeteksi panjang gelombang dari amplitudo yang sangat rendah (beberapa sentimeter). Data real-time ditransmisikan melalui satelit. Akan tetapi terdapat juga sistem yang menggunakan kabel yang dapat digunakan untuk lokasi yang berada di dekat pantai. Akan tetapi, tsunameter ini sangat mahal, hal ini disebabkan karena alat ini harus sering *dimaintenance*. Oleh karena itu tsunameter sebagian besar digunakan untuk lokasi jauh dari garis pantai atau pulau[13].

Ketinggian gelombang tsunami ketika mendekati daratan berbeda dengan saat gelombang masih berada di laut lepas. Ketika mendekati daratan, ketinggian gelombang bisa mencapai 3-4 meter, bahkan lebih, tetapi dengan kecepatan yang lebih lambat dibanding saat masih berada di laut lepas. Tsunami dapat memiliki lebih dari satu gelombang. Gelombang pertama umumnya tidak begitu besar, akan tetapi gelombang kedua, dan seterusnya yang bisa membanjiri pantai setelah gelombang yang pertama tiba.

Ada beberapa kriteria yang digunakan untuk pengambilan keputusan apakah akan ada peringatan tsunami atau tidak. Umumnya, apabila terjadi gempa dengan kekuatan lebih dari 6,5 SR dan gempa tersebut terjadi di kedalaman antara 0 – 5 km dibawah dasar laut, maka peringatan akan dikeluarkan. Peringatan tersebut dapat dikeluarkan 3 hingga 5 menit setelah gempa di dasar laut dan bisa memberikan indikasi awal dari potensi apakah tsunami dapat menyebabkan kerusakan.

Di negara-negara yang memiliki laut dan berpotensi tsunami, terdapat Sistem Pendeteksi Tsunami. Di Jepang, Amerika Serikat, India, dan Australia menggunakan sistem buoy tsunami yang khas, yang terdiri dari dua buah komponen; sensor tekanan yang dijangkarkan ke dasar laut serta pelampung di permukaan laut. Sensor di dasar laut mengukur perubahan ketinggian dengan mengukur perubahan terkait pada

tekanan air. Tinggi air ini dikomunikasikan ke pelampung di permukaan laut oleh telemetri akustik dan kemudian diteruskan melalui satelit ke pusat peringatan tsunami. Selain sistem buoy, negara-negara ini menggunakan Tide Gauge yang dipasang untuk mengukur ketinggian gelombang. Tide gauge ini menggunakan sensor accoustic yang terhubung pada *tube* vertikal yang bagian bawahnya terbuka, yang mana berada di dalam air. Sensor ini memancarkan *pulse* suara yang bergerak dari bagian atas *tube* menuju ke permukaan air yang berada dibagian bawah *tube* lalu kemudian dipantulkan kembali. Jarak dari ketinggian air dapat diketahui dengan menghitung jarak tempuh dari *pulse*.

2.3 Accelerometer

Sensor dapat membantu mendeteksi, menganalisis, dan mencatat fenomena fisik yang sulit diukur dengan mengubah fenomena tersebut menjadi sinyal yang lebih mudah. Sensor mengkonversi pengukuran fisik seperti perpindahan, kecepatan, percepatan, gaya, tekanan, konsentrasi bahan kimia, atau aliran ke dalam bentuk sinyal-sinyal listrik [8].



Gambar 2.5 Modul sensor accelerometer

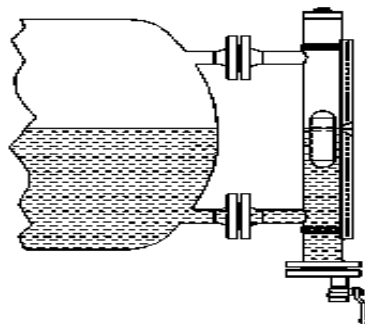
Accelerometer sensitif pada percepatan linear dan medan gravitasi lokal. Accelerometer adalah sebuah sensor yang dapat mengukur percepatan fisik yang terjadi pada sebuah objek yang disebabkan oleh gaya inersia ataupun eksitasi mekanik [15]. Ketika menggunakan accelerometer di medan gravitasi bumi, selalu akan ada percepatan yang disebabkan oleh gravitasi. Dengan demikian, sinyal dari

sensor accelerometer dapat dipisahkan menjadi dua sinyal: percepatan dari gravitasi dan percepatan eksternal. Percepatan dari gravitasi memungkinkan pengukuran dari kemiringan sensor dengan mengidentifikasi arah mana yang “turun”. Dengan memfilter percepatan eksternal, orientasi dari sensor tiga sumbu dapat dikalkulasi dari percepatan pada tiga sumbu accelerometer. Orientasi sensor dapat sangat berguna pada navigasi.

2.4 Magnetic Level Gauge

Magnetic Level Gauge digunakan untuk mengontrol level cairan. Magnetic level Gauge bekerja menggunakan dua prinsip dasar, yaitu:

- a. Hukum Archimedes. Menurut hukum Archimedes, benda yang ditenggelamkan dalam sebuah cairan menerima daya apung yang sama dengan berat dari cairan yang dipindahkannya.
- b. Prinsip dari daya tarik-menarik diantara kutub yang tidak sama dari sebuah magnet permanen. Dan daya tolak-menolak diantara kutub yang sama [4].



Gambar 2.6 Magnetic Level Gauge [17]

Pada ruang pengukuran (measuring chamber), dimasukkan sebuah pelampung yang di dalamnya terdapat magnet. Pelampung berisi magnet tersebut akan mengapung mengikuti mediumnya yang berupa cairan (fluid). Pelampung akan mengaktifkan saklar pada rel indicator ketinggian. Dengan menggunakan lebih

banyak saklar, dapat dibuat sebuah control pump (pump on/off) atau bahkan bisa membuat alarm untuk ketinggian level.

Pelampung akan tenggelam apabila mediumnya memiliki masa jenis yang ringan dan sebaliknya, pelampung akan mengapung pada medium yang memiliki masa jenis yang lebih berat [17].

Magnetic Level Gauge sangat awet dan dapat digunakan pada aplikasi yang dapat memecahkan atau bahkan menghancurkan alat pengukur. Magnetic Level Gauge dapat digunakan di bawah tanah dengan temperatur dan tekanan di area kerja hingga 4000°C dan 220 bar. Alat pengukur jenis ini mampu mendeteksi level inter-phase, bahkan pada medium yang bersifat sangat beracun ataupun korosif.

2.5 Gelombang Radio (Radio Wave) [9]

Dalam sistem komunikasi, sinyal informasi yang akan dikirim diubah terlebih dahulu menjadi sinyal yang cocok dengan karakteristik medium. Misalnya, mikrofon mengubah suara percakapan menjadi variasi tegangan dan frekuensi. Sinyal baseband ini kemudian dapat dialirkan melalui kabel menuju headphone. Prinsip ini yang digunakan dalam komunikasi telepon.

Selain menggunakan kabel, sistem komunikasi juga dapat menggunakan udara sebagai media transmisinya. Informasi diubah kedalam sinyal elektronik yang akan diradiasikan ke udara. Sinyal tersebut terdiri dari medan listrik dan medan magnet, atau sering disebut dengan sinyal elektromagnetik. Sinyal elektromagnetik disebut juga dengan gelombang frekuensi radio (*Radio Frequency waves*).

Di luar lapisan atmosphere bumi terdapat lapisan yang dinamakan ionosphere. Ionosphere adalah suatu lapisan gas yang terionisasi sehingga mempunyai muatan listrik, lapisan ini berbentuk kulit bola raksasa yang menyelimuti bumi. Lapisan ini dapat berpengaruh kepada jalannya gelombang radio. Pengaruh-pengaruh penting dari ionosphere terhadap gelombang radio adalah bahwa lapisan ini mempunyai kemampuan untuk membiaskan dan memantulkan gelombang radio. Kapan gelombang radio itu dipantulkan dan kapan gelombang radio dibiaskan atau

dibelokkan tergantung kepada frekuensinya dan sudut datang gelombang radio terhadap ionosphere.

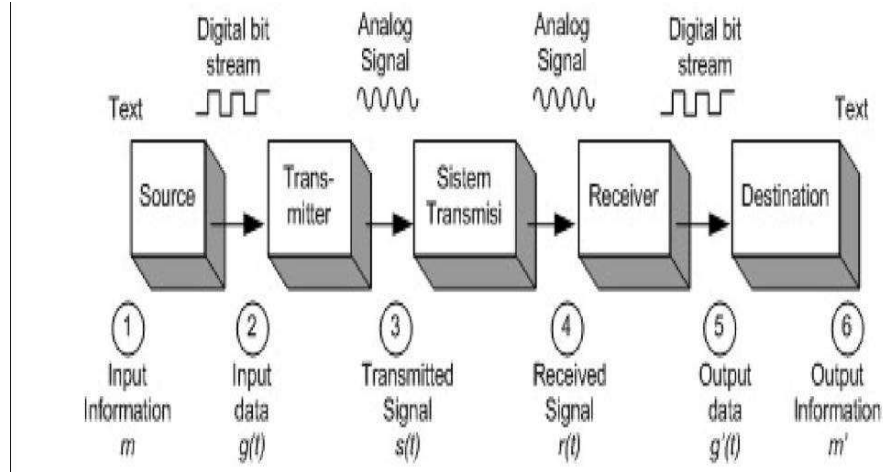
Tabel 2.1 Spektrum radio [9]

No.	Classification Band	Initials	Frequency Range	Propagation Mode
1.	Extremely Low	ELF	<300Hz ~ 3kHz	Ground Wave
2.	Infra Low	ILF	300Hz ~ 3kHz	Ground Wave
3.	Very Low	VHF	3kHz ~ 30kHz	Ground Wave
4.	Low	LF	30kHz ~ 300kHz	Ground Wave
5.	Medium	MF	300kHz ~ 3MHz	Ground/Sky Wave
6.	High	HF	3MHz ~ 30MHz	Sky Wave
7.	Very High	VHF	30MHz ~ 300MHz	Space Wave
8.	Ultra High	UHF	300MHz ~ 3GHz	Space Wave
9.	Super High	SHF	3GHz ~ 30GHz	Space Wave
10.	Extremely High	EHF	30GHz ~ 300GHz	Space Wave
11.	Tremendously High	THF	300GHz ~ 3000GHz	Space Wave

Frekuensi gelombang radio yang mungkin dapat dipantulkan kembali adalah frekuensi yang berada pada range Medium Frequency (MF) dan High Frequency (HF). Adapun gelombang radio pada Very High Frequency (VHF) dan Ultra High Frequency (UHF) atau yang lebih tinggi, secara praktis dapat dikatakan tidak dipantulkan oleh ionosphere akan tetapi hanya sedikit dibiaskan dan terus melaju dan menghilang ke angkasa luar.

2.6 Komunikasi Data [20]

Komunikasi data merupakan bagian dari telekomunikasi yang secara khusus mengenai transmisi atau pemindahan data serta informasi antara komputer dengan perangkat lain dalam bentuk digital yang kemudian dikirimkan melalui media komunikasi data. Komunikasi data merupakan bagian yang sangat penting karena sistem ini menyediakan infrastruktur yang memungkinkan komputer dengan komputer atau maupun komputer dengan perangkat lain dapat berkomunikasi satu sama lain.



Gambar 2.7 Model Sebuah Komunikasi Data Sederhana

Komponen dari komunikasi data terbagi menjadi:

1. Pengirim, adalah perangkat yang mengirimkan data
2. Penerima, adalah perangkat yang menerima data
3. Data, adalah informasi yang akan dipindahkan
4. Media Pengiriman, adalah media atau saluran yang digunakan untuk mengirimkan data
5. Protokol, adalah aturan-aturan yang berfungsi untuk menyeimbangkan.

2.7 Protokol Radio AX-25 [2]

Protokol adalah sebuah aturan yang mendefinisikan beberapa fungsi yang ada dalam sebuah jaringan komputer, misalnya mengirim pesan, data, informasi dan fungsi lain yang harus dipenuhi oleh sisi pengirim dan sisi penerima agar komunikasi dapat berlangsung dengan benar, walaupun sistem yang ada dalam jaringan tersebut berbeda sama sekali. Protokol ini mengurus perbedaan format data pada kedua sistem hingga pada masalah koneksi listrik. Standar protokol yang terkenal yaitu OSI (Open System Interconnecting) yang ditentukan oleh ISO (International Standart Organization).

AX.25 adalah protokol layer 2 (merujuk pada OSI Layer Reference) yaitu Data Link Layer. Sebagai protokol layer 2 AX.25 bertanggung jawab untuk membangun link connection, menyediakan prosedur logic untuk information transfer, dan link disconnection. Sehingga AX.25 cukup lengkap untuk dijadikan contoh implementasi sebuah protokol[10]. Protokol Amatir X.25 (AX.25) adalah protokol radio turunan dari X.25 yang digunakan dalam jaringan paket radio untuk membangun hubungan antara dua buah terminal melalui *physical layer* dan lapisan *data link*. Protokol ini akan bekerja pada dua kondisi transmisi yaitu *half duplex* dan *full duplex*. Selanjutnya dua lapisan yang ada pada protokol ini yaitu *physical layer* dan lapisan *data link* dapat dibagi lagi ke dalam beberapa status keadaan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7. Keadaan yang dimasukkan adalah mendefinisikan keadaan suatu *link* komunikasi radio untuk *multi link*.

Layer	:DLSAP:		Function(s)		:DLSAP:
Data Link (2)	Segmenter	Management Data Link	Segmenter	Management Data Link	...
	Data Link		Data Link	Data Link	...
	Link Multiplexer				
Physical (1)	Physical				
	Silicon-Radio				

Gambar 2.8 Keadaan Protokol AX.25 untuk multi link

Dengan mengacu gambar 2.7 pada protokol AX.25 lapisan paling atas dari *layer* 2 adalah *Data Link Access Point* (DLAP). DLAP merupakan lapisan yang akan menyediakan untuk meneruskan paket data ke *layer* 3. Pada saat terjadi transmisi data maka hubungan antara *data link* diberikan oleh lapisan *data link* dengan menggabungkan antara dua atau lebih DLAP. Kemudian *data link* akan memberikan suatu urutan bit yang dipecah menjadi beberapa blok data yang disebut *frame*.

Ada tiga tipe umum frame dari protokol AX.25. Yaitu:

1. Information frame (I frame)
2. Supervisory frame (S frame)
3. Unnumbered frame (U frame)

Flag	Address	Control	PID	Info	FCS	Flag
01111110	112/224 Bits	8/16 Bits	8 Bits	N*8 Bits	16 Bits	01111110

Gambar 2.9 Konstruksi I Frame

Flag	Address	Control	Info	FCS	Flag
01111110	112/224 Bits	8/16 Bits	N*8 Bits	16 Bits	01111110

Gambar 2.10 Konstruksi S dan U Frame

Format protokol AX.25 pada teknologi *packet radio* memiliki maksimum 256 byte dalam satu *frame*. Pada pengiriman data kecepatan tinggi dan aplikasi TCP/IP dilakukan beberapa perubahan sehingga dimungkinkan untuk mengirim lebih dari 256 byte data dalam satu *frame*.

Frame AX.25 dimulai dan ditutup oleh *flag byte* yang berisi 01111110. *Address field* berisi alamat tujuan, alamat pengirim paket dan stasiun-stasiun yang berfungsi sebagai *relay*. Dengan menggunakan stasiun lain sebagai *relay*, maka stasiun yang digunakan sebagai *relay* tersebut dapat mengirimkan data ke tempat tujuan. Hal tersebut dikenal sebagai konsep *digipeater (digital repeater)*. Pada *control field* berisi identifikasi bentuk *frame* AX.25 yang dikirim. Apakah *frame* ini untuk melakukan koneksi (membuka hubungan komunikasi), koreksi (jika ada *frame* AX.25 yang rusak dalam pengiriman), untuk *broadcast* dan sebagainya. *Packet ID (PID)* digunakan untuk memberitahukan jenis data yang dikirim, apakah data berbentuk teks, binary atau protokol lapisan *network*. *Frame Check Sequence (FCS)* digunakan oleh bagian penerima pada proses pendeteksian kesalahan.

Protokol AX.25 dalam komunikasi data radio mempermudah pengguna untuk berkomunikasi data secara langsung dengan menggunakan program *hyperterminal* dan pengguna tidak perlu repot dengan masalah *acknowledgement* karena sudah ditangani oleh *terminal node controller* (TNC). Untuk melakukan komunikasi data yang dapat dikontrol secara langsung oleh *software* lebih fleksibel apabila menggunakan protokol lapisan yang lebih bawah. Sebagian besar TNC mendukung penggunaan *keep it simple and stupid* (KISS) sebagai protokol pada lapisan bawah untuk mengirimkan datagram secara langsung dari komputer/mikrokontroler. KISS *frame* ini sudah dilengkapi dengan proses deteksi kesalahan. KISS *frame* ini juga digunakan untuk komunikasi data secara langsung dengan menggunakan protokol TCP/IP.

2.8 Link Budget

Link budget adalah cara untuk mengukur jangkauan radio. Komunikasi radio pada frekuensi UHF merupakan komunikasi yang dilakukan secara line of sight (LOS). Hal ini disebabkan karena gelombang radio yang dipancarkan pada frekuensi ini tidak dipantulkan oleh lapisan atmosfer bumi. Untuk komunikasi radio dengan kondisi propagasi LOS maka link budget yang ideal dapat dihitung dengan persamaan berikut [1]:

$$P_R(dl) = E - L_F + G_R - L_R \quad (1)$$

$$E(dl) = P_T - L_T + G_T \quad (2)$$

$$L_F(d) = 33,24 + 20 \log(F_{MHz}) + 20 \log(D_{km}) \quad (3)$$

dimana:

- P_R = Daya yang diterima pada penerima
- E = Daya efektif yang diradiasikan antena
- L_T = Rugi-rugi saluran transmisi pada pemancar
- L_F = *Free Space Loss* atau *Path Loss*
- G_R = *Gain* antena penerima

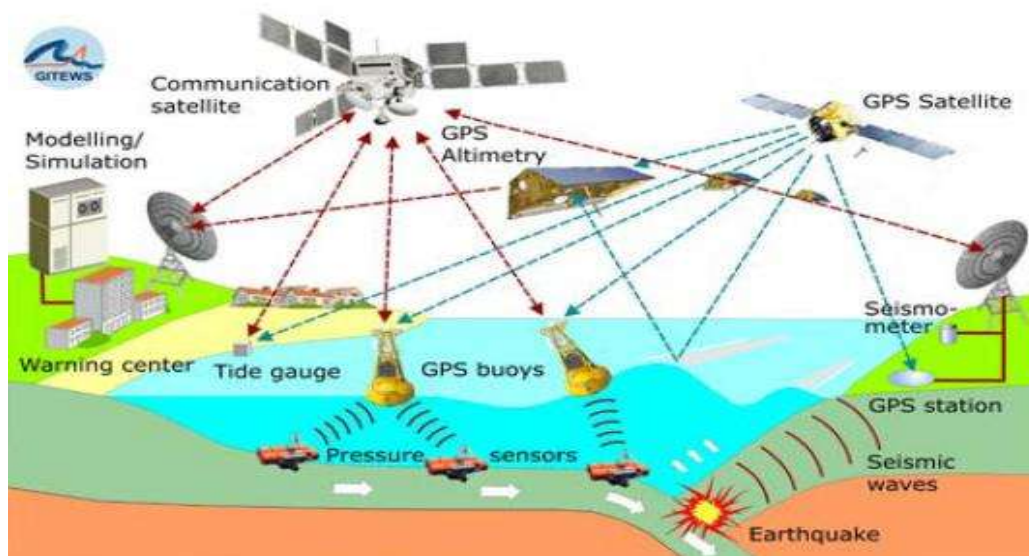
L_R = Rugi-rugi saluran transmisi pada penerima

2.9 Kajian Pustaka

Menurut [6], hingga saat ini belum ada *early warning system* di dunia yang secara konstan dapat memonitor seluruh laut, yang mana dapat digunakan untuk menemukan dan melacak tsunami.

Sistem yang dikenal dengan nama GITEWS (German-Indonesia Tsunami Early Warning System) telah dipasang sejak tahun 2008 dan sedang dalam fase pengujian final. Sejumlah sensor-sensor *network* telah dipasang sepanjang *trench* Sunda dan di seluruh bagian Indonesia. *Network* ini dihubungkan oleh satelit komunikasi dengan *Warning Center* di Jakarta.

Berdasarkan sensor seismik, pusat gempa dapat ditentukan lokasinya dengan cepat, tetapi tidak dapat memberikan informasi langsung apakah tsunami telah terbentuk atau tidak. Oleh karena itu, permukaan laut haruslah dipantau dengan sensor tekanan, pelampung dan *tide gauge* untuk mendeteksi tanda-tanda gelombang tsunami. Meskipun penyebaran spasial sensor-sensor ini telah dipilih dengan sangat cermat, jumlah sensor-sensor ini terbatas yang dikarenakan oleh biaya tinggi untuk pengembangan serta penyebarannya. Tsunami merupakan fenomena global, tetapi secara global, tsunami early warning system yang berbasis di darat tidaklah layak. Pendeteksian tsunami dari luar angkasa dapat menjadi pelengkap yang berarti untuk sistem yang berbasis di darat. Untuk mendeteksi tsunami dengan cepat, permukaan laut haruslah dimonitoring dengan cakupan spasial yang tinggi dan temporal. Radar Altimeter (RA) satelit tidak bisa menyediakan data cakupan spasial dan temporal, data tersebut tidak dapat ditransmisikan dengan segera seperti yang disyaratkan untuk tsunami early warning.



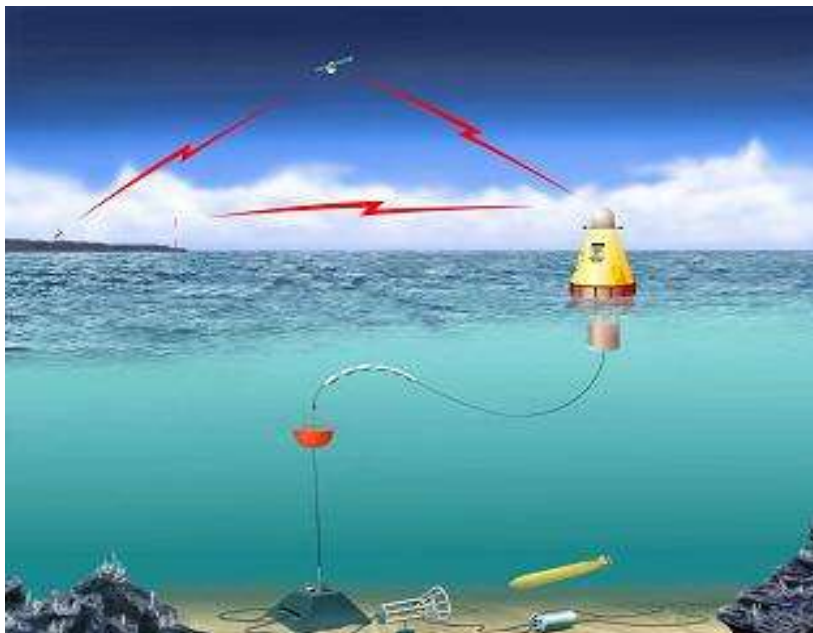
Gambar 2.11 Overview dari sistem sensor GITEWS

GNSS-R (*Global Navigation Satellite System – Reflectometry*) merupakan metode yang tepat untuk altimetri permukaan laut dan juga pendeteksian tsunami dari luar angkasa, terutama saat menggunakan sebuah konstelasi LEO (*Low Earth Orbit*). Altimetri adalah pengamatan topografi dan dinamikan permukaan laut.

Hasil yang dicapai dari simulasi yang dilakukan adalah GNSS-R dianggap pelengkap yang berarti untuk tsunami early warning system yang berbasis di darat. Simulasi penelitian menunjukkan bahwa tsunami dengan *magnitude* yang dapat dibandingkan bisa dideteksi dengan bantuan konstelasi LEO GNSS-R Walker di Samudera Hindia dan juga di laut Mediterania. Akan tetapi, pendeteksian di laut Mediterania hanya memungkinkan setelah 30 menit. Hal ini disebabkan pada saat pengujian, ketinggian gelombang tidaklah cukup tinggi[19].

Potensial kerusakan di daratan Cyprus akibat tsunami yang dihasilkan oleh pergerakan seismik sangatlah signifikan, hal ini ditunjukkan oleh catatan sejarah dan studi statistik terbaru. Tingginya kepadatan penduduk dan infrastruktur di daerah pesisir membuat sistem pendeteksi dan pemberi peringatan tsunami yang *real time* dan handal menjadi sangat penting. Saat ini, di belahan bumi lain, pendeteksian

tsunami dicapai dengan BPR (Bottom Pressure Recorder) yang mahal, yang mana BPR ini sulit dan memakan biaya untuk pemeliharaan dan bergantung pada modem telemetry yang mahal dan sangat sulit mengirimkan sinyalnya dari tempat yang sangat dalam. Teknik lain yang diimplementasikan di Jepang adalah menggunakan GPS untuk mengukur perpindahan sebuah pelampung (buoy) secara vertikal yang ditambatkan dekat pantai bersama mercusuar (beacon).



Gambar 2.12 Observatory CYCOFOS yang telah ada

Infrastruktur komponen lepas pantai dari CYCOFOS (Cyprus Coastal Ocean Forecasting and Observing System) yang sudah ada terdiri dari sebuah permukaan pelampung yang ditambatkan pada instrumen di dasar laut dengan melalui kabel yang mengandung konduktor listrik dan serat optik untuk transmisi data [7].

Sistem Peringatan Tsunami di India dibentuk oleh NIOT (*Nation Institute of Ocean Technology*), Chennai, Departemen *Earth Science* (Ilmu Bumi), Pemerintah India. Sistem Peringatan Tsunami ini terdiri dari data buoy (pelampung) dengan BPR di dasar laut yang dalam dan *Acoustic Tide Gauge Network* di area pesisir pantai.

BPR memberikan peringatan mengenai gangguan apapun di dasar laut. *Tide gauge* di dekat lokasi gempa mengkonfirmasi terjadinya gelombang tsunami. Informasi dari *acoustic tide gauge* akan membantu untuk memprediksi dampak tsunami di daerah pesisir pantai [23].

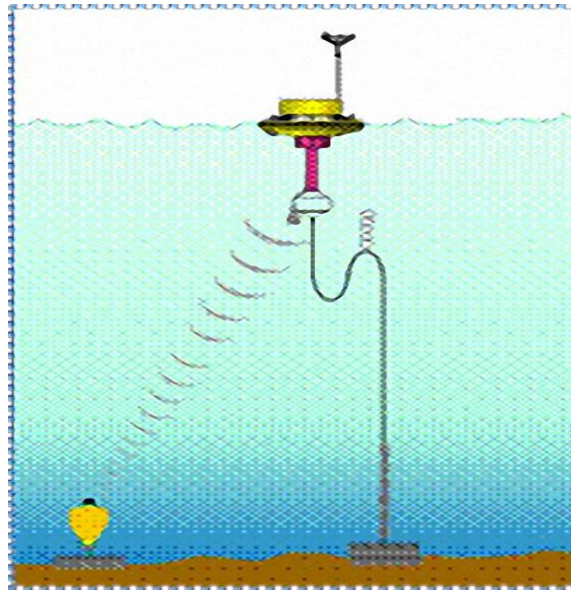
Sistem Tsunami Buoy terdiri dari dua unit, sebuah buoy di permukaan air laut dan BPR (*Bottom Pressure Recorder*). Komunikasi antara BPR dan buoy di permukaan diwujudkan melalui modem *acoustic* dan buoy di permukaan air laut menggunakan satelit untuk mengkomunikasikan nilai-nilai yang tercatat ke stasiun yang berada di pesisir pantai.



Gambar 2.13 Tsunami Buoy milik NIOT

Pada kondisi normal, BPR mengukur tekanan setiap 15 detik dan mengkomunikasikan data berupa nilai rata-rata ketinggian air ke pelampung di

permukaan setiap jam yang dibagi menjadi 4 kali 15 menit. *Buoy* di permukaan pada akhirnya mengirimkan data ke stasiun di pesisir pantai.



Gambar 2.14 Cara kerja Tsunami Buoy milik NIOT

Sedangkan pada saat terjadi tsunami, BPR akan mengukur tekanan mengkomunikasikan nilai ketinggian air setiap 5 menit yang dibagi menjadi 10 kali 30 detik. *Buoy* di permukaan mengirimkan data ke stasiun di pesisir pantai setiap 5 menit selama 3 jam [11].

Acoustic Tide Gauge menggunakan sistem pengukuran ultrasonik untuk mengukur gelombang laut dengan menerima perintah dari *master controller*. Sistem monitoring ini didesain untuk lokasi pemasangan di area pelabuhan dengan konsumsi daya sistem sebesar 4,3 watt.

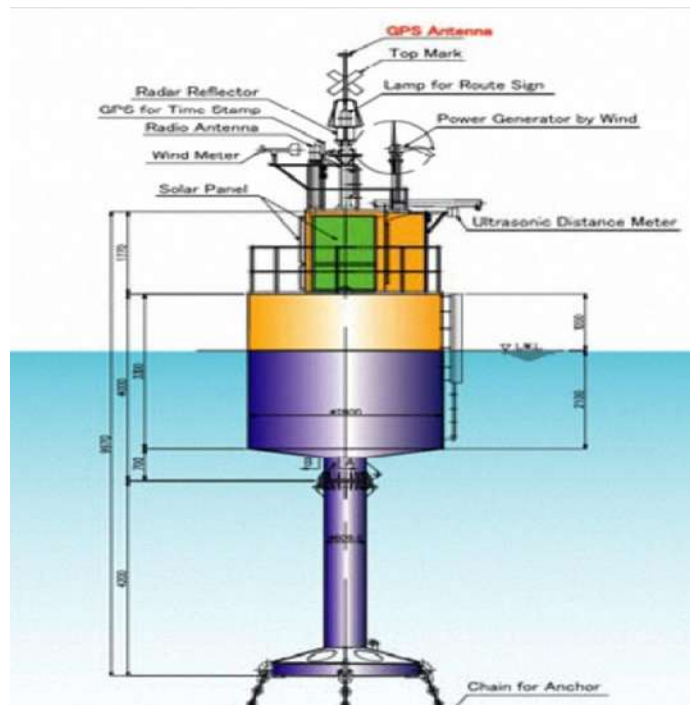


Gambar 2.15 *Accoustic Tide Gauge* yang dipasang di Pelabuhan Vizihijam , Kerala

Sistem monitoring ini mengukur gelombang laut dengan interval rata-rata 1 menit. Pengontrol komunikasi akan menerima data dari *master controller* dan mengtransmisikannya via modem satelit kepada *Indian Tsunami Warning System*, Hyderabad, dan NIOT. Data *realtime* akan diterima oleh pusat penerima masing-masing pihak dalam bentuk e-mail dengan intervail setiap 6 menit. Proses pengkalibrasian *Acoustic Tide Gauge* dilakukan di laboratorium dengan referensi jarak menggunakan *laser distance meter*[23].

Salah satu penanggulangan paling efektif terhadap bencana tsunami adalah mendeteksi tsunami sebelum tiba di pantai dan memberikan peringatan kepada seluruh penduduk yang tinggal di pesisir antai. Sejumlah sistem pemantau tsunami lepas pantai telah dikembangkan, yang diantaranya menggunakan BPR (*BPR*) yang telah secara luas digunakan untuk tujuan ini. Sebuah metode baru sistem pemantau tsunami menggunakan *buoy GPS* telah dikembangkan selama 12 tahun. Teknologi yang digunakan adalah RTK GPS (*Real-time Kinematic*). *Buoy GPS* lebih mudah

ditangani dan lebih mudah pemeliharannya dibandingkan sensor bawah laut, meskipun sensitivitasnya sedikit lebih rendah dibandingkan dengan sensor bawah laut.



Gambar 2.16 Sistem Pendeteksi Tsunami GPS di Ofunato

Sebagai ruang lingkup masa depan, ada beberapa fasilitas tambahan yang rencananya akan diimplementasikan pada sistem *buoy* GPS. Aplikasi pertama adalah apa yang disebut dengan GPS/Acoustic untuk memonitor deformasi (perubahan bentuk) kerak bumi di dasar laut. Rencana kedua adalah aplikasi untuk penelitian mengenai atmosfer melalui perkiraan *delay* puncak troposfer.

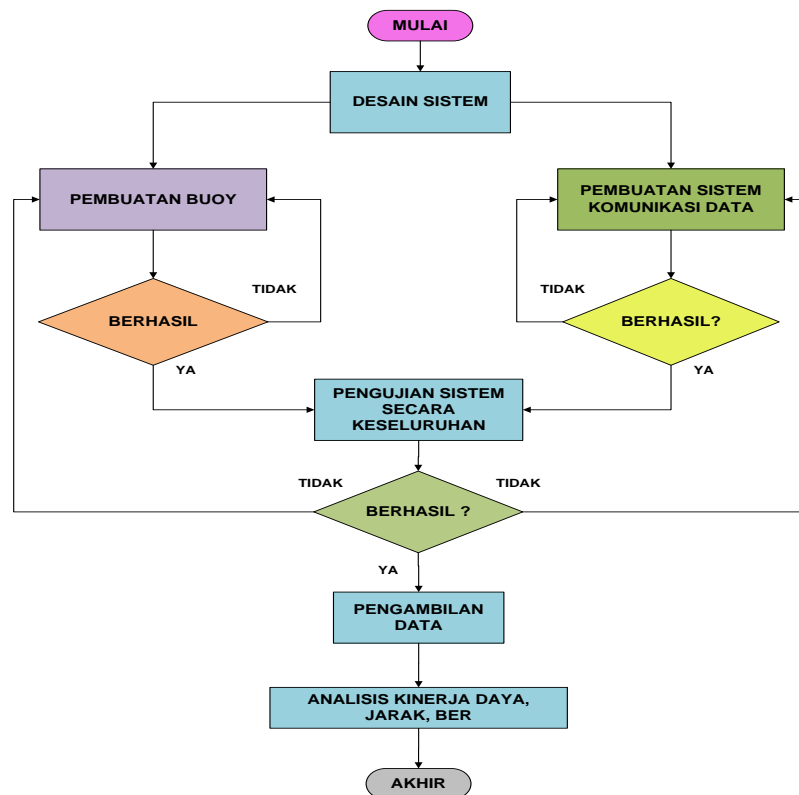
Sistem pendeteksi tsunami menggunakan RTK-GPS yang berfungsi untuk memonitor *platform* bergerak secara *realtime* dengan akurasi beberapa sentimeter berdasarkan posisi relatif. Apabila sebuah penerima GPS ditempatkan pada sebuah *buoy* yang stabil di laut dan data dikirimkan ke stasiun di darat untuk analisis RTK, variasi dari permukaan laut dibandingkan dengan lokasi yang stabil di daratan [21].

[Halaman ini Sengaja Dikosongkan]

BAB 3

METODE PENELITIAN

Pada bab ini membahas mengenai tahapan dalam proses perancangan sistem secara keseluruhan. Adapun tahapan proses perancangan yaitu meliputi desain sistem, pengujian komunikasi data antara *transmitter* / *receiver*, proses kalibrasi data sensor, pengambilan data, dan analisis kinerja sistem. Adapun metodologi penelitian yaitu seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1.



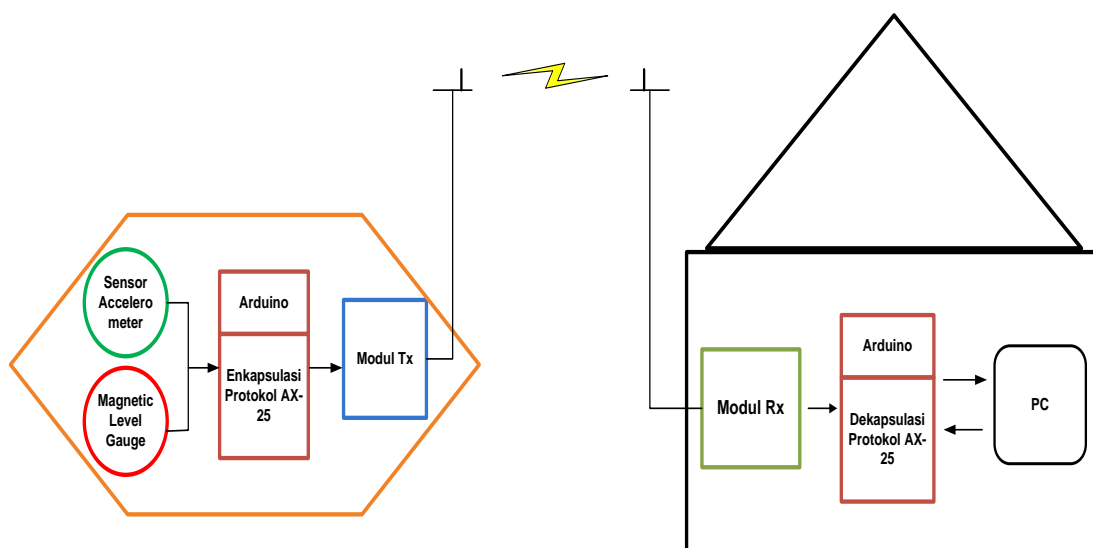
Gambar 3.1 Diagram alir proses penelitian

Diagram alir dari penelitian ini, dimulai dengan mendesain sistem. Sistem terdiri dari perangkat keras (hardware), dan perangkat lunak (software). Setelah

mendesain dan mengimplementasikan sistem, dilanjutkan dengan menguji komunikasi data antara transmitter dan receiver. Apabila telah sesuai dengan desain yang dibuat, maka selanjutnya dilakukan proses kalibrasi data sensor. Selanjutnya dilakukan proses pengambilan data untuk dianalisis sehingga dapat ditarik kesimpulan.

3.1 Desain Sistem

Desain sistem terdiri dari perangkat keras (hardware), dan perangkat lunak (software). Sistem hardware sendiri, terbagi atas desain *buoy*, desain transmitter dan desain receiver. Sedangkan untuk sistem software, terbagi atas bagian transmitter dan receiver. Untuk lebih jelasnya tentang desain sistem secara keseluruhan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Desain sistem secara keseluruhan

Berdasarkan Gambar 3.2 bahwa sistem EWS yang dibuat pada penelitian ini terdiri atas dua bagian, yaitu bagian sistem buoy yang berada di laut dan sistem ground didaratan. Untuk sistem buoy terdiri atas sensor accelerometer yang berfungsi untuk mengukur akselerasi pergerakan gelombang laut, khususnya tsunami pada

sumbu X Y Z. Sedangkan sensor magnetic level gauge berfungsi untuk mengukur laju pasang surut permukaan laut, yang merupakan salah satu tanda akurat bahwa akan terjadi tsunami. Perbedaan dari kedua sensor ini, yaitu Accelerometer dapat memberi informasi ketinggian gelombang laut yang sudah terbentuk, khususnya tsunami, dan juga dapat mengetahui frekuensi gelombang laut sehingga dapat diketahui kecepatan gelombang dan waktu tempuhnya untuk sampai didarat. Sedangkan sensor magnetic level gauge, yaitu berfungsi untuk mengukur laju pasang surut permukaan laut pada saat air laut mengisi rongga patahan lempeng yang diakibatkan oleh gempa bumi.

Data kedua sensor accelerometer dan magnetic level gauge, akan menjadi input untuk modul arduino UNO. Pada modul arduino UNO, kedua data sensor tersebut dilakukan enkapsulasi menggunakan protocol AX-25. Setelah dilakukan enkapsulasi, kedua data sensor tersebut dikirim ke sistem transmitter AC4490-200M secara serial melalui port TX dan RX. Kemudian kedua data sensor tersebut akan ditransmisikan ke sistem penerima yang berada didaratan melalui antenna 7" MMCX S467FL-5-RMM-915.

Pada sistem yang berada di daratan, sinyal kedua data sensor tersebut diterima oleh sistem receiver AC4490-200M melalui antenna 7" MMCX S467FL-5-RMM-915. Kemudian dari sistem receiver, diteruskan ke modul arduino UNO untuk dilakukan proses dekapsulasi menggunakan protocol AX-25. Kemudian data hasil dekapsulasi tersebut, diteruskan kekomputer dengan menggunakan komunikasi serial. Pada komputer, data tersebut akan diolah menjadi kedalam bentuk tampilan angka dan grafik menggunakan software Visual Basic (VB). Maka dengan mengamati tampilan tersebut, dapat dilakukan analisa terhadap data dari kedua sensor tersebut.

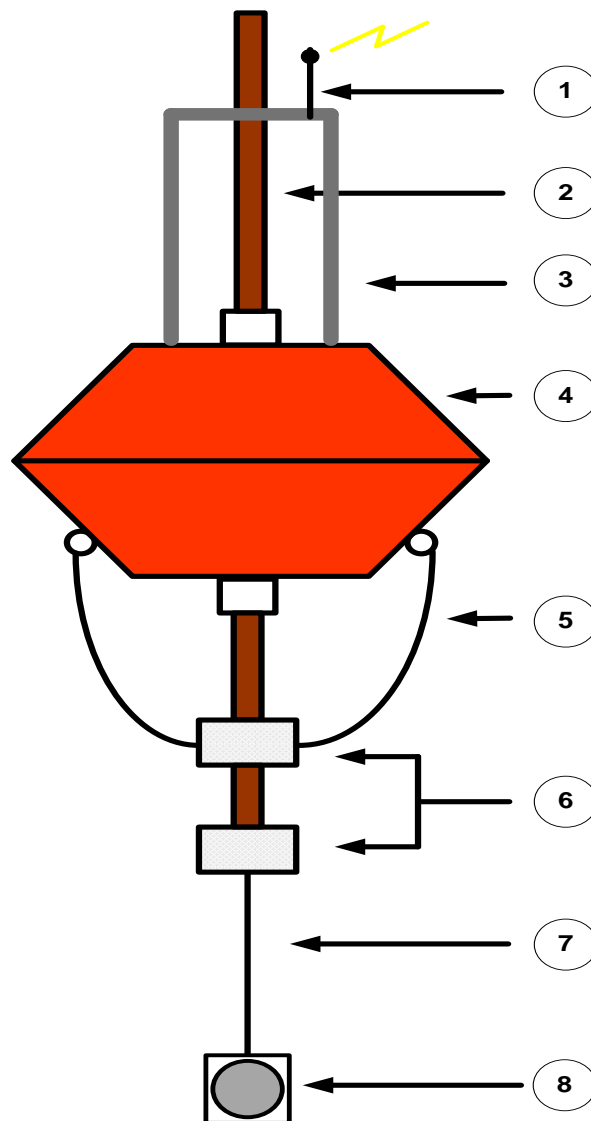
3.1.1 Desain Sistem Hardware

Pada sistem hardware terdiri atas desain konstruksi buoy, yang berfungsi sebagai pelampung dan tempat dari sistem buoy itu sendiri seperti power supply (battery), sensor, dan *transceiver* (termasuk antenna). Selain itu desain konstruksi

buoy terbuat dari bahan anti korosi, agar tahan terhadap korosi yang diakibatkan oleh air laut.

3.1.1.1 Perancangan Sistem Buoy

Pada bagian ini, membahas mengenai tahapan proses pembuatan sistem buoy. Adapun rancangan sistem buoy yang dirancang, yaitu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Desain rancangan sistem *buoy*

Berdasarkan desain konstruksi *buoy* seperti yang ditunjukkan Gambar 3.3, bahwa konstruksi *buoy* terdiri dari delapan bagian. Adapun keterangan untuk masing-masing bagian *buoy*, yaitu sebagai berikut:

- 1) Antenna Pemancar; yaitu berfungsi sebagai antenna untuk mentransmisi data dari hasil pembacaan sensor *accelerometer* dan *magnetic level gauge*, menuju sistem penerima di darat (*ground*).
- 2) *Hollow*; yaitu berfungsi sebagai wadah untuk tempat *reed switch* yang merupakan bagian dari sistem sensor *magnetic level gauge*.
- 3) Tiang Antenna; yaitu berfungsi sebagai penyangga antenna pemancar pada sistem *buoy*.
- 4) Pelampung (*Buoy*); yaitu berfungsi sebagai pelampung dan tempat dari sistem *buoy* itu sendiri. Bagian ini terbuat dari bahan dasar resin dan serat *glass*, adapun dimensi ukuran *buoy* yaitu mempunyai diameter lingkaran 60 cm, tinggi bagian atas 30 cm, dan tinggi bagian bawah 40 cm. Sehingga total dimensi ukuran *buoy* yaitu 60×70 cm.
- 5) Tali Pengikat *Bouy*; yaitu berfungsi sebagai pengikat *buoy* dengan jangkar.
- 6) Pelampung Melayang; yaitu berfungsi untuk menjaga tali jangkar agar tetap pada posisi vertikal keatas. Perlu diketahui, bahwa pelampung ini harus tetap pada posisi melayang dan tidak boleh muncul dipermukaan air laut.
- 7) Tali Jangkar; yaitu berfungsi untuk mengikat antara *buoy* dan jangkar penambat.
- 8) Jangkar; berfungsi sebagai jangkar penambat sistem *buoy*, agar tidak bergeser ataupun hanyut karena arus laut. Perlu diketahui, agar berat jangkar penambat harus mampu menahan sistem *buoy*.

Setelah didapatkan desain rancangan *buoy* yang diinginkan, tahap pertama yang dilakukan yaitu mendesain cetakan. Adapun desain cetakan, harus mengikuti bentuk *buoy* yang diinginkan. Pada penelitian ini, *buoy* yang dirancang berbentuk kerucut terpancung dan terdiri atas dua bagian (yaitu bagian alas dan penutup). Oleh karena itu, cetakan yang dibuat berbentuk kerucut terpancung. Adapun cetakan yang dibuat,

yaitu menggunakan tanah liat. Setelah cetakan selesai dibuat, proses selanjutnya yaitu melapisi cetakan tersebut dengan serat glass dan kemudian diolesi cairan resin yang telah dicampur dengan catalyst sebagai pengeras. Pada proses ini dilakukan pelapisan sebanyak tiga kali pelapisan, hal ini bertujuan untuk mendapatkan ketebalan yang diinginkan agar buoy lebih kokoh terhadap terjangan gelombang laut. Adapun proses pencetakan buoy, seperti ditunjukkan Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Pencetakan bagian atas buoy menggunakan tanah liat

Pada Gambar 3.4, menunjukkan proses pencetakan bagian atas buoy dengan menggunakan tanah liat. Setelah proses pencetakan selesai dan resin sudah kering, maka buoy dapat diangkat dari cetakan untuk proses selanjutnya. Gambar 3.5 adalah bagian bawah buoy setelah dilepas dari cetakan.



Gambar 3.5 Bagian bawah buoy setelah dilepas dari cetakan

Setelah buoy dilepas dari cetakan tanah liat, maka dilakukan proses selanjutnya yaitu proses dempul dan penghalusan. Proses ini bertujuan untuk membuat permukaan buoy lebih halus, sekaligus menambah lapisan dan kekuatan dari buoy tersebut. Gambar 3.6 menunjukkan buoy setelah dilakukan proses dempul dan penghalusan.



Gambar 3.6 Buoy setelah didempul dan dihaluskan

Proses selanjutnya yaitu pengecatan buoy, yang bertujuan untuk memberi warna sekaligus menambah lapisan buoy. Adapun warna yang digunakan, yaitu menggunakan warna orange. Penggunaan warna orange bertujuan untuk memberi kesan warna cerah dan mencolok agar lebih mudah dilihat dari kejauhan, sehingga dapat menghindari buoy dari tabrakan kapal yang lewat disekitarnya. Gambar 3.7 buoy setelah melalui proses pengecatan.



Gambar 3.7 Buoy setelah melalui proses pengecatan

Proses selanjutnya setelah pengecatan, yaitu pemasangan baut pengancing buoy sekaligus ring plat yang keduanya berbahan stainless steel anti korosi. Setelah itu pemasangan aksesoris, seperti soket kabel antenna, soket kabel sensor magnetic level gauge, soket kabel data serial, sakelar power supply, dan pemasangan tiang tempat dudukan antenna pemancar sistem buoy. Gambar 3.8 menunjukkan buoy yang telah terpasang dengan aksesoris dan tiang antenna.



Gambar 3.8 Buoy yang telah terpasang aksesoris dan tiang antenna

Setelah itu buoy siap untuk dilakukan pengujian daya apung, dan pengujian apakah terjadi kebocoran atau tidak. Pada Gambar 3.8 terlihat pemberian silicon rubber, yaitu bertujuan untuk membuat buoy tahan air atau anti bocor (water proof). Gambar 3.9 yaitu menunjukkan proses pengujian daya apung dan kebocoran buoy.



Gambar 3.9 Proses pengujian daya apung dan kebocoran buoy

Setelah sukses pada pengujian daya apung dan kebocoran, maka proses selanjutnya yaitu melengkapi sistem yang akan dipasang buoy tersebut. Adapun sistem yang akan dipasang, yaitu transmitter, arduino UNO, sensor accelerometer, sensor magnetic level gauge, dan power supply battery 2×12 Volt 7 Ampere yang dihubung parallel sehingga menjadi 12 Volt 14 Ampere. Gambar 3.10 menunjukkan buoy yang telah terintegrasi.



Gambar 3.10 Buoy yang telah terintegrasi

3.1.1.2 Sensor Accelerometer

Sensor *accelerometer*, yaitu berfungsi sebagai pendeteksi pergerakan gelombang pada sumbu X, Y, dan Z. Adapun bentuk fisik sensor *accelerometer* yang digunakan, yaitu seperti yang ditunjukkan Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Modul sensor *Accelerometer*

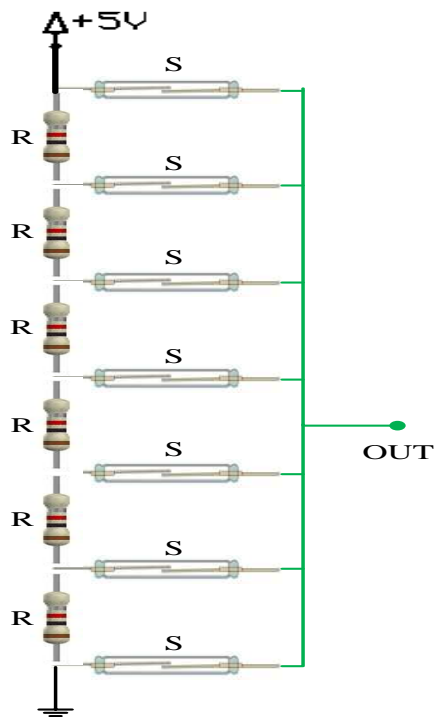
Modul sensor *Accelerometer* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.11 adalah jenis DT-Sense 3 Axis Accelerometer, merupakan suatu modul sensor accelerometer 3-Axis yang menggunakan IC MMA7455L buatan Freescale Semiconductor. IC MMA7455L mampu mengukur akselerasi pada sumbu X, Y, dan Z dengan konsumsi daya yang rendah dan output berupa data digital. Contoh aplikasi dari modul ini antara lain untuk pengaturan stabilitas pengambilan gambar, *text scrolling* dengan *motion*, *motion dialing*, deteksi *freefall*, pedometer, *motion sensing*, *event recorder*, serta aplikasi aplikasi lain yang memerlukan data akselerasi. Adapun spesifikasi dari sensor ini ditunjukkan oleh Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Spesifikasi DT-Sense 3 Axis Accelerometer

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan kerja	3,3 Volt DC
Sensitivitas	64 LSB / g @ 2g dan @ 8g pada mode 10-bit
Pilihan sensitivitas	$\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ untuk mode 8-bit
Antarmuka	I ² C dan SPI
Kemampuan deteksi	Shock, Vibration, dan Freefall.

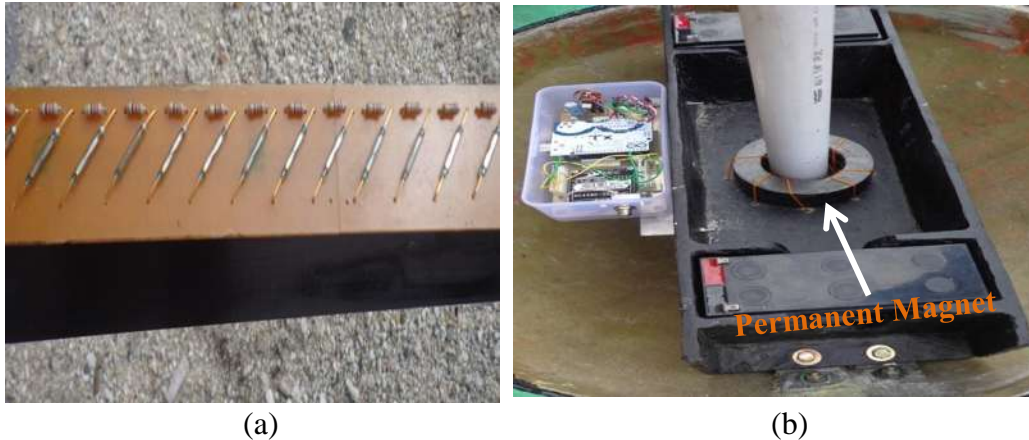
3.1.1.3 Sensor Magnetic Level Gauge

Selain modul sensor accelerometer, pada sistem hardware juga terdapat modul sensor *magnetic level gauge* yang berfungsi untuk mendeteksi laju pasang surut air laut sebagai salah satu tanda pasti akan terjadinya *tsunami*. Sensor ini merupakan hasil rancangan sendiri, yang terinspirasi dari sistem pengukuran level condenser pada sistem kondensasi di PLTU. Konsep dasar dari sensor ini sendiri berasal dari prinsip pembagi tegangan. Sehingga sensor ini, mempunyai prinsip kerja yang sama dengan variable resistor (potensiometer). Adapun skema rangkaian dari sensor magnetic level gauge, yaitu seperti ditunjukkan pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Skema rangkaian sensor magnetic level gauge

Berdasarkan Gambar 3.12 bahwa sensor magnetic level gauge, terdiri dari resistor yang dihubung seri, dan reed switch yang terpasang diantara tiap resistor. Reed switch tersebut akan menutup (close), apabila terinduksi oleh medan magnet. Setiap reed switch menghasilkan nilai tegangan output yang berbeda-beda, berdasarkan pergerakan posisi magnet. Nilai tegangan tersebut, merepresentasikan posisi magnet yang merupakan posisi jarak perubahan suatu objek yang diukur, dalam hal ini perubahan pasang surut air laut. Adapun bentuk fisik dari sensor *magnetic level gauge* yang digunakan pada penelitian ini, yaitu seperti ditunjukkan Gambar 3.13 (a) (b).

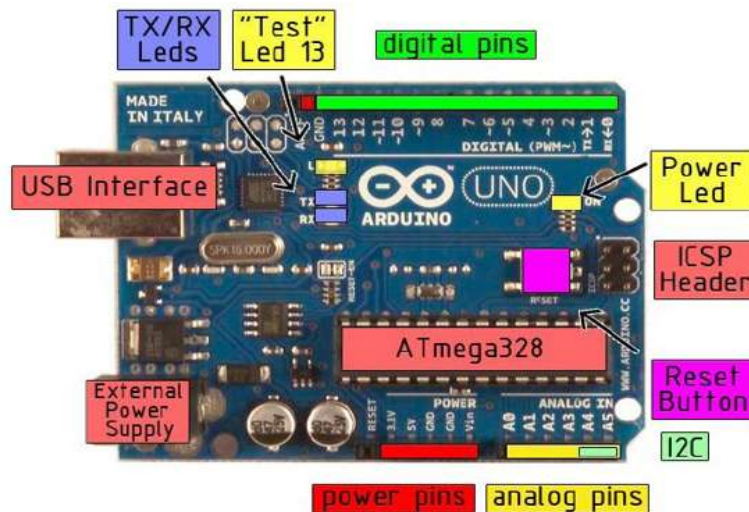


Gambar 3.13 (a) pembagi tegangan (bagian statis); (b) permanent magnet (bagian dinamis)

Berdasarkan Gambar 3.13 (a) (b), bahwa sensor *magnetic level gauge* terdiri dari dua bagian utama, yaitu bagian pembagi tegangan (bagian statis) menggunakan *reed switch* sebagai pendeteksi medan magnet yang dihasilkan oleh permanent magnet (bagian dinamis). Permanent magnet, akan selalu bergerak berdasarkan pergerakan pelampung yang diakibatkan oleh pengaruh pergerakan laju pasang surut air laut. Adapun dimensi ukuran panjang sensor yaitu 5 meter, atau sama dengan 335 buah reed switch dan 334 resistor @ 30Ω ($10000/334 = 29,9\Omega \cong 30\Omega$). Sedangkan tingkat resolusi sensor, yaitu 1,5 cm (jarak antara tiap reed switch), atau sama dengan $5V/334 = 14,97 \text{ mV}$ atau $14,97/4,8 = 3,11$ desimal.

3.1.1.4 Modul Arduino UNO

Selain itu, pada penelitian ini juga menggunakan modul arduino yang berfungsi sebagai *interface* antara modul sensor *accelerometer* dengan modul transmitter (pada bagian transmitter) dan interface antara modul receiver dengan computer. Bentuk fisik modul arduino yang digunakan ditunjukkan Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Modul Arduino UNO

Modul arduino seperti yang ditunjukkan Gambar 3.14 merupakan jenis modul Arduino UNO yang berbasis Atmega328 memiliki fitur 18 pin I/O (Digital I/O 12 pin, 6 pin PWM Output, dan 6 pin Analog Input). Spesifikasi modul Arduino UNO dapat dilihat pada Tabel 3.2.

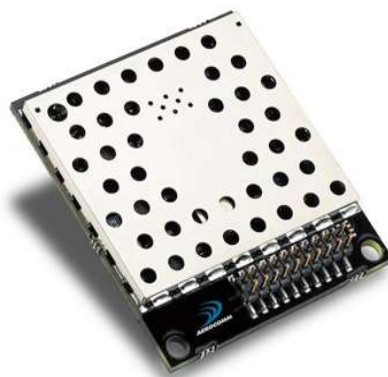
Tabel 3.2 Spesifikasi modul Arduino UNO

Spesifikasi	Keterangan
Microcontroller	Atmega328
Tegangan kerja	5 Volt DC
Tegangan input	7 – 12 Volt DC
Digital I/O pins	12 Pins (6 PWM Output)
Analog input pins	6 Pins
DC current per I/O	40 mA / 60 mA
Flash Memory/ SRAM /EEPROM	32Kb, 0.5 digunakan untuk bootloader / 2Kb / 1Kb
Clockspeed	16 MHz

3.1.1.5 Modul *Transceiver* AC4490-200

Selain itu komponen utama pada sistem ini, yaitu modul transmitter dan receiver (*transceiver*) yang berfungsi sebagai media komunikasi antara sistem transmitter dan sistem receiver. Pada penelitian ini menggunakan modul *Transceiver* AC4490-200, yaitu merupakan bagian dari keluarga *transceiver* AeroComm ConnexRF Original Equipment Manufacturer (OEM) yang beroperasi dibawah regulasi Federal Communication Commission (FCC) 15.247 pada band 900 MHz Industrial Scientific and Medical (ISM).

Modul *Transceiver* AC4490-200 merupakan *transceiver* yang hemat biaya, mempunyai performa yang tinggi. Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) modul *Transceiver* AC4490-200 menyediakan sebuah serial interface berupa asinkron TTL / RS-485 untuk komunikasi host OEM. Komunikasi meliputi sistem dan konfigurasi data. Host menyuplai sistem untuk melakukan transmisi ke host-host yang lain. Konfigurasi data disimpan dalam sebuah *on-board* EEPROM. Semua frekuensi hopping, sinkronisasi, dan transmisi / penerimaan sistem data RF dilakukan oleh *transceiver*. Bentuk fisik dari modul *Transceiver* AC4490-200, yaitu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Modul *Transceiver* AC4490-200

Transceiver ini dapat digunakan sebagai sebuah pengganti kabel serial secara langsung, tanpa memerlukan software Host khusus untuk pengoperasiannya. Modul *Transceiver* AC4490-200 juga memiliki sejumlah *On-the-Fly* perintah kontrol yang menyediakan OEM interface yang serbaguna untuk jaringan apapun. Spesifikasi modul *Transceiver* AC4490-200 seperti yang ditunjukkan Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Spesifikasi modul *Transceiver* AC4490-200

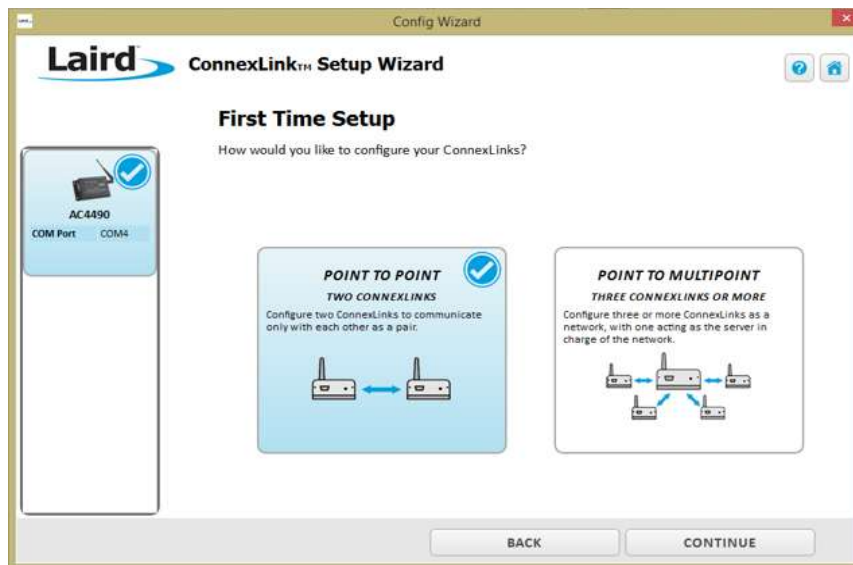
GENERAL						
20 Pin Interface Connector	Samtec TMM-110-01-L-D-SM, mates with Samtec SMM-110-02-S-D					
RF Connector	MMCX receptacle, mates with any manufacture’s MMCX Style Plug					
Antenna	MMCX Connector or integral antenna					
Serial Interface Data Rate	Baud rates from 1200 bps to 115,200 bps					
Power Consumption	Duty Cycle TX=Transmit RX=Receive					
	10% TX	50% TX	100% TX	100% RX	Pwr-Dwn	Deep Sleep
	38 mA	68 mA	106 mA	30 mA	19 mA	6 mA
Channels	3 Channel Sets comprising 56 total channels					
Security	One byte System ID 56 bit DES encryption key					
Interface Buffer Size	Input/Output: 256 bytes each					
TRANSCIVER						
Frequency Band	902-928 MHz					
RF Data Rate	76.8 kbps fixed					
RF Technology	Frequency Hopping Spread Spectrum					
Output Power	Conducted (No Antenna)			EIRP (3 dBi gain antenna)		
	100 mW typical			200 mW typical		
Supply Voltage	3,3 – 5,5V ±50mV ripple					
Sensitivity	-99 dBm typical @76.8 kbps RF Data Rate					
Range, Line of Site (based on 3dBi gain antenna	4 miles					

Modul *transceiver* AC4490-200 beroperasi pada sebuah arsitektur *Point-to-Point* atau *Point-to-Multipoint*, *Client-Server* atau *Peer-to-Peer*. Satu *transceiver* dikonfigurasi sebagai sebuah server dan bisa terdapat lebih dari satu *Client*. Untuk menciptakan sinkronisasi antara *transceiver*, Server memancarkan sebuah sinyal. Setelah mendeteksi sinyal, *client transceiver* menginformasikan Host dan RF link.

Perlu untuk diketahui, bahwa untuk pengoperasian modul *transceiver* AC4490-200, *user* harus melakukan *login* dengan *user account* ke situs vendor dalam hal ini Laird (<http://www.lairdtech.com/>). Apabila belum mempunyai *user account*, *user* dapat mendaftar pada *website* Laird untuk mendapatkan *user name* dan *password* untuk mendapatkan akses mengunduh *software* produk Laird dalam hal ini *software* konfigurasi penggunaan modul *transceiver* AC4490-200.

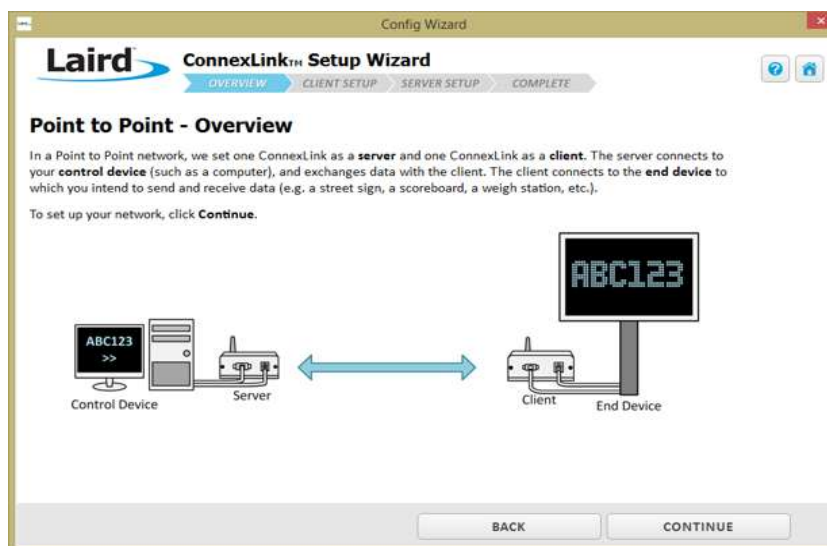
Konfigurasi modul ini perlu menggunakan modul tambahan, yaitu modul USB-to-TTL dengan konfigurasi silang pada pin RX TX (pin RX modul *transceiver* dihubungkan ke pin TX modul USB-to-TTL, dan pin TX modul *transceiver* dihubungkan ke pin RX modul USB-to-TTL). Setelah itu modul *transceiver* dihubungkan dengan sumber power supply VCC (3,3 – 5,5V \pm 50mV ripple), dengan konfigurasi pin yang digunakan pada penelitian ini (pin 2 = TX, pin 3 = RX, pin 5 dan 16 = GND, pin 10 dan 11 = VCC). Selain itu modul USB-to-TTL dihubungkan ke port USB komputer yang digunakan, dan jangan lupa menghubungkan pin GND modul *transceiver* dengan pin GND modul USB-to-TTL. Perlu diingat, *antenna* modul *transceiver* harus dalam kondisi terpasang.

Karena pada penelitian ini hanya menggunakan dua modul *transceiver*, maka yang dipilih adalah konfigurasi *Point to Point*.



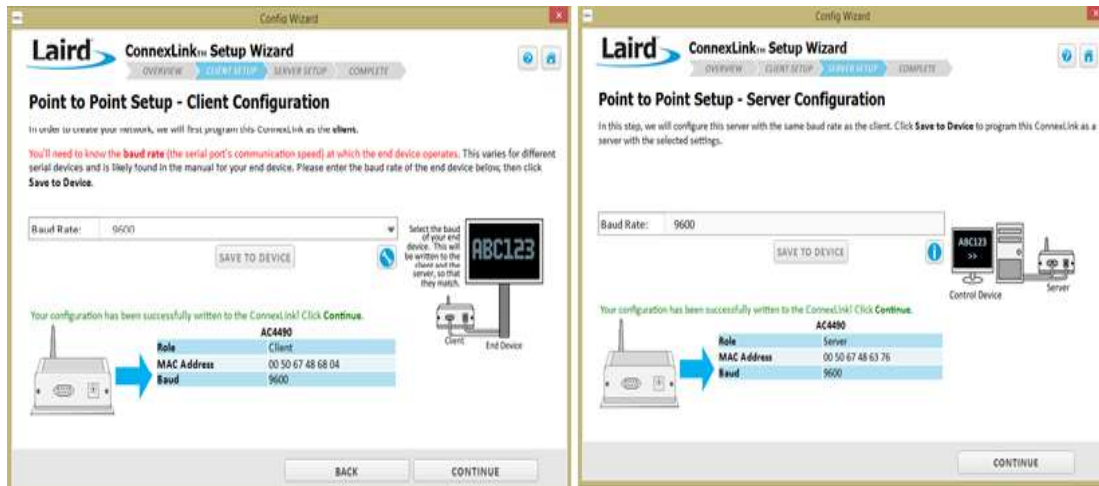
Gambar 3.16 Pilihan konfigurasi

Overview dari konfigurasi *Point to Point* yang terdiri dari 1 *client* dan 1 *server* dapat dilihat pada gambar 3.17.



Gambar 3.17 Overview client dan server

Adapun penentuan baud rate, yaitu disesuaikan dengan baud rate pada pemrograman arduino UNO yang digunakan. Setelah melakukan konfigurasi untuk *client*, dilakukan konfigurasi server. Modul *transceiver* AC4490-200 yang telah terkonfigurasi sebagai client harus dilepas, dan diganti dengan modul *transceiver* AC4490-200 yang akan dikonfigurasi sebagai server.



Gambar 3.18 Client dan Server Configuration.

Gambar 3.18 menunjukkan konfigurasi *client* dan *server* beserta MAC Address dan nilai *baud ratenya*. Dimana untuk *client*, memiliki *MAC Address* 00 50 67 48 68 04 serta *baud rate* 9600. Sedangkan *server*, memiliki *MAC Address* 00 50 67 48 63 76 serta *baud rate* 9600. MAC Address yang merupakan alamat jaringan yang diterapkan pada lapisan *data link* (pada OSI layer) digunakan untuk protokol AX-25.

3.1.1.6 Antenna 7" MMCX S467FL-5-RMM-915



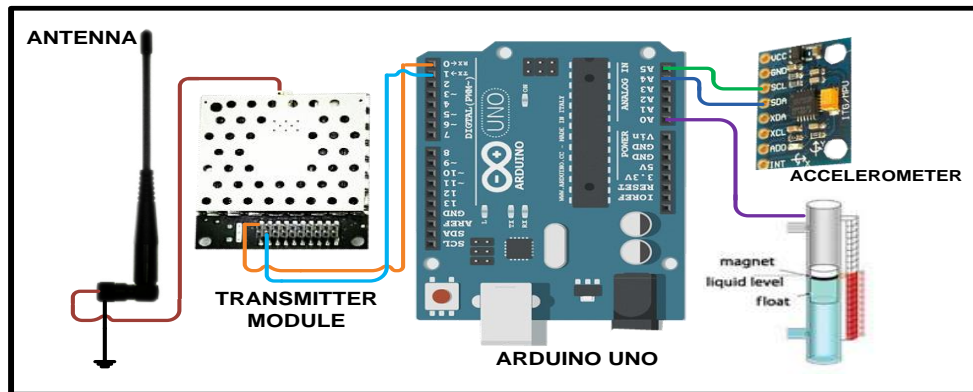
Gambar 3.19 Antenna 7" MMCX S467FL-5-RMM-915

Pada Gambar 3.27 merupakan jenis antenna yang digunakan untuk modul penelitian ini. Adapun jenis antenanya, yaitu menggunakan antenna 7" MMCX S467FL-5-RMM-915. Adapun spesifikasi antenna yang digunakan, yaitu seperti ditunjukkan pada Tabel 3.4.

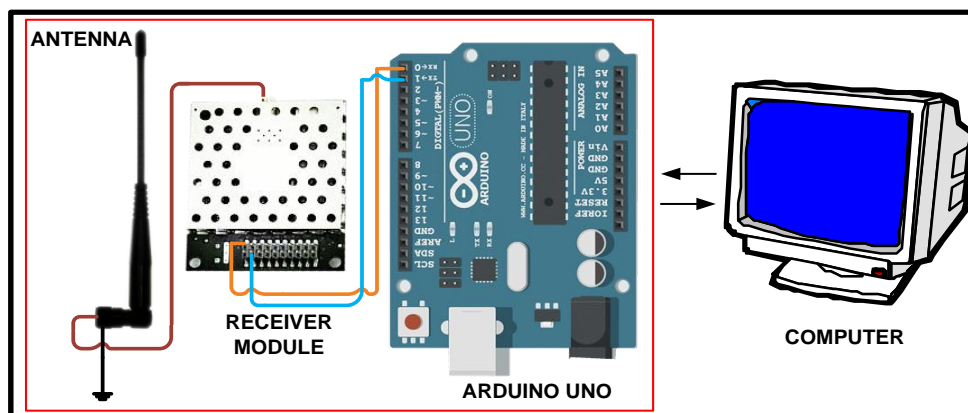
Tabel 3.4 Spesifikasi Antenna 7" MMCX S467FL-5-RMM-915

Manufacturer	Laird Technologies
Product Category	Antennas
RoHS	Details
Technology Type	1/2 Wave Wireless <i>Transceiver</i> Antenna
Frequency	900-928 MHz
Gain	2 dBi
Impedance	50 Ohms
Termination Style	MMCX

Berdasarkan semua modul komponen hardware yang telah dijelaskan, maka dapat dibuat menjadi suatu sistem hardware buoy dan penerima didarat untuk Perancangan Sistem Komunikasi Data Menggunakan Protocol AX-25 Pada Tsunami Early Warning System yang merupakan topik pembahasan pada penelitian ini. Pada Gambar 3.28 dan Gambar 3.29, menunjukkan integrasi beberapa modul komponen hardware menjadi sebuah desain sistem hardware buoy dan penerima didarat.



Gambar 3.20 Desain hardware sistem buoy



Gambar 3.21 Desain hardware sistem penerima di darat

Berdasarkan desain sistem, sistem terdiri dari dua prototype, yaitu bagian buoy yang dilengkapi dengan sensor accelerometer dan sensor magnetic level gauge. Sedangkan pada bagian penerima di darat dilengkapi dengan interface data secara real time. Pada bagian transmitter, berfungsi sebagai pendeteksi pergerakan ketinggian gelombang pada sumbu (X, Y, Z) dan laju pasang surut.

3.1.2 Desain Sistem Software

Pada AX25 dua layer yaitu Data Link Layer dan Physical Layer, secara lebih jauh bisa dibedakan menjadi beberapa *Finite State Machine* (FSM), diantaranya Physical, Link Multiplexer, Data Link, Segmenter, dan Management Data Link. Link

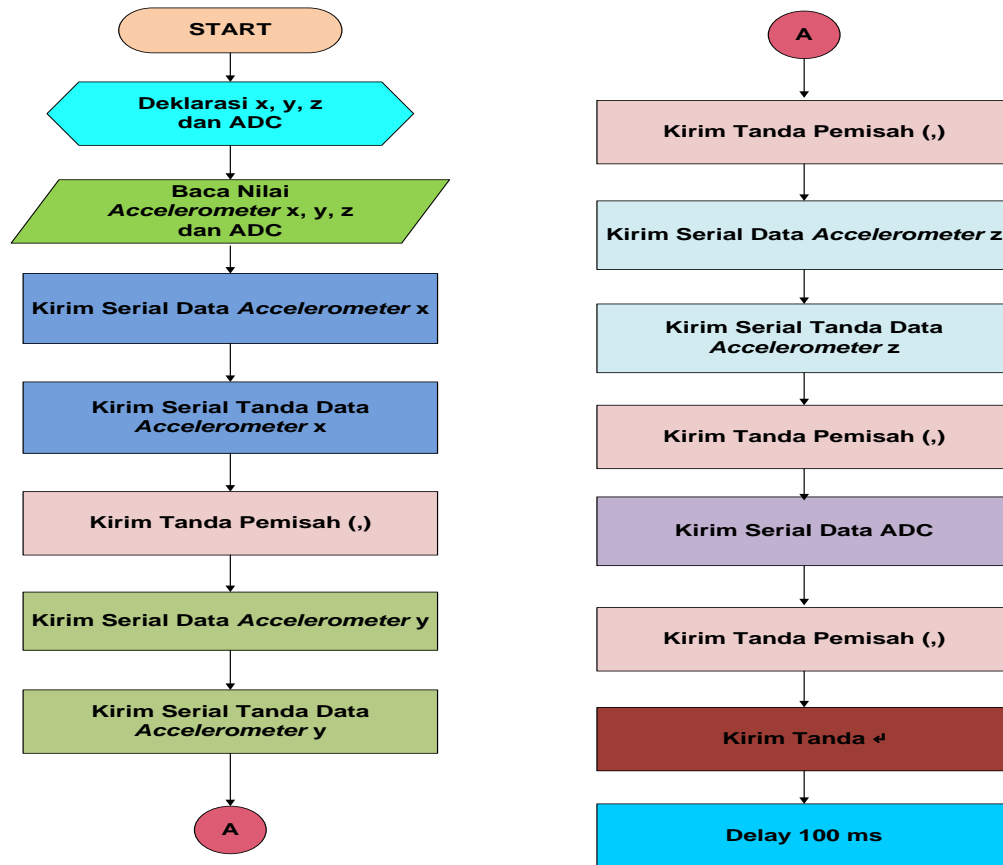
Layer Radio Packet Transmission dikirimkan dalam bentuk blok data kecil, yang disebut *frame*. Ada tiga tipe umum dari AX25 Frames, yaitu *Information frame* (I frame), *Supervisory frame* (S frame), dan *Unnumbered frame*. Lebih jelasnya, seperti ditunjukkan Gambar 3.

Flag	Address	Control	PID	Info	FCS	Flag
01111110	112/224 Bits	8/16 Bits	8 Bits	N*8 Bits	16 Bits	01111110

Flag	Address	Control	Info	FCS	Flag
01111110	112/224 Bits	8/16 Bits	N*8 Bits	16 Bits	01111110

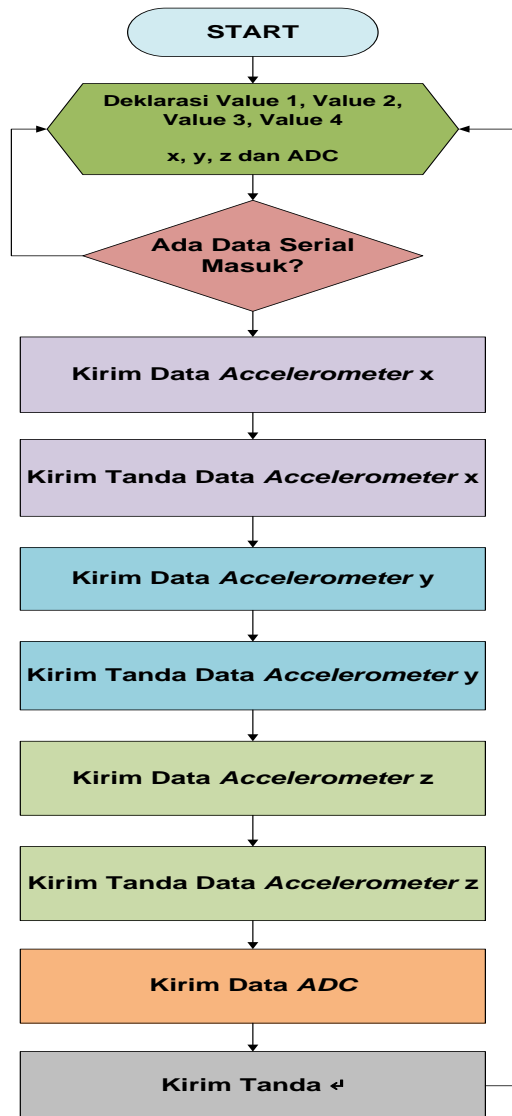
Gambar 3.22 Struktur frame AX25

Pada penelitian ini, penerapan protokol AX-25 diterapkan pada sistem dengan baudrate sebesar 9600 bps. Data hasil pembacaan sensor yang berupa data untuk setiap sumbu, dan data laju pasang surut, akan dienkapsulasi dengan menggunakan protokol AX-25. Hasil enkapsulasi data tersebut, dikirim secara serial pada band frekuensi UHF (902.5 MHz) menuju receiver yang terpasang di darat (*ground*). Pada gambar 3.31 adalah diagram alir protokol AX-25 pada sistem transmitter. Data dienkapsulasi sebelum kemudian dikirim ke receiver di daratan.



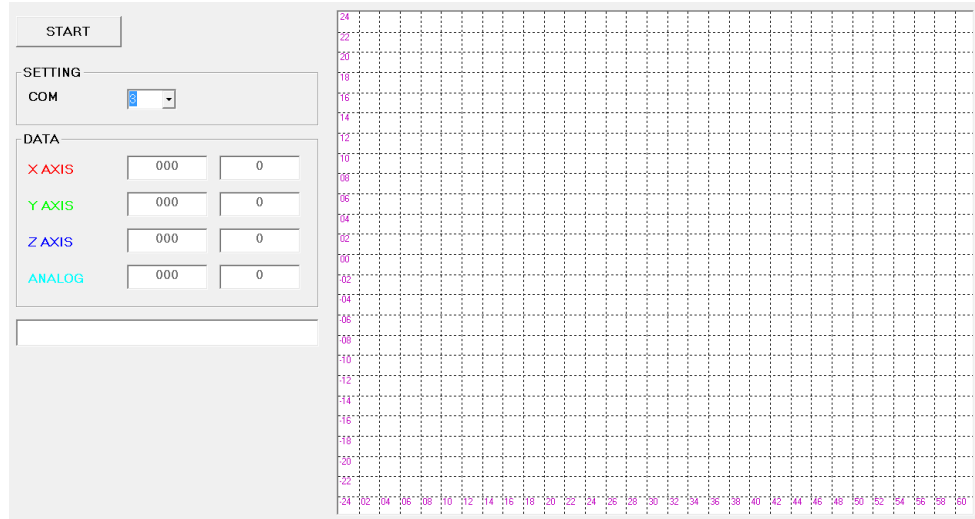
Gambar 3.23 Diagram alir AX-25 pada sistem transmitter

Pada sistem receiver, data yang diterima kemudian dilakukan dekapsulasi untuk masing-masing sumbu (X, Y, Z) dan data laju pasang surut. Kemudian diteruskan ke komputer menggunakan komunikasi serial dan ditampilkan pada interface berupa grafik pergerakan akselerasi gelombang yang terbagi menjadi tiga sumbu (X, Y, Z) dan data laju pasang surut berupa dalam bentuk angka. Gambar 3.32 adalah diagram alir AX-25 pada sistem receiver.



Gambar 3.24 Diagram alir AX-25 sistem receiver

Pada sistem receiver, data tersebut dapat dipantau secara real time tanpa harus mengirimkan perintah pengiriman data. Adapun tampilan interface pada sistem receiver, ditunjukkan Gambar 3.33.



Gambar 3.25 Tampilan interface pada sistem receiver

Tampilan interface pada sistem receiver dibuat dengan menggunakan aplikasi visual basic. Listing programnya dapat dilihat di lampiran.

3.2 Pengujian Komunikasi Data Transmitter dan Receiver

Pada proses ini, pengujian komunikasi data dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem secara keseluruhan. Adapun tahapan pengujian komunikasi data yang dilakukan, yaitu dengan mengirim sembarang data dari sistem transmitter menuju ke sistem receiver.

3.3 Proses Kalibrasi Data Sensor

Pada proses ini, dilakukan kalibrasi data sensor dengan tujuan untuk mendapatkan hasil pembacaan yang akurat. Adapun proses kalibrasi data sensor dilakukan dengan mengubah faktor pembagi pada software pembacaan data sensor yang terdapat pada bagian sistem receiver. Berikut adalah penggalan listing program untuk proses kalibrasi pada masing-masing sumbu (X, Y, Z).

$p = \text{Val}(\text{txtax.Text}) / 50$	'rumus x axis dari adc ke ketinggian sumbu x
$q = \text{Val}(\text{txtay.Text}) / 50$	'rumus y axis dari adc ke ketinggian sumbu y
$r = \text{Val}(\text{txtaz.Text}) / 50$	'rumus z axis dari adc ke ketinggian sumbu z

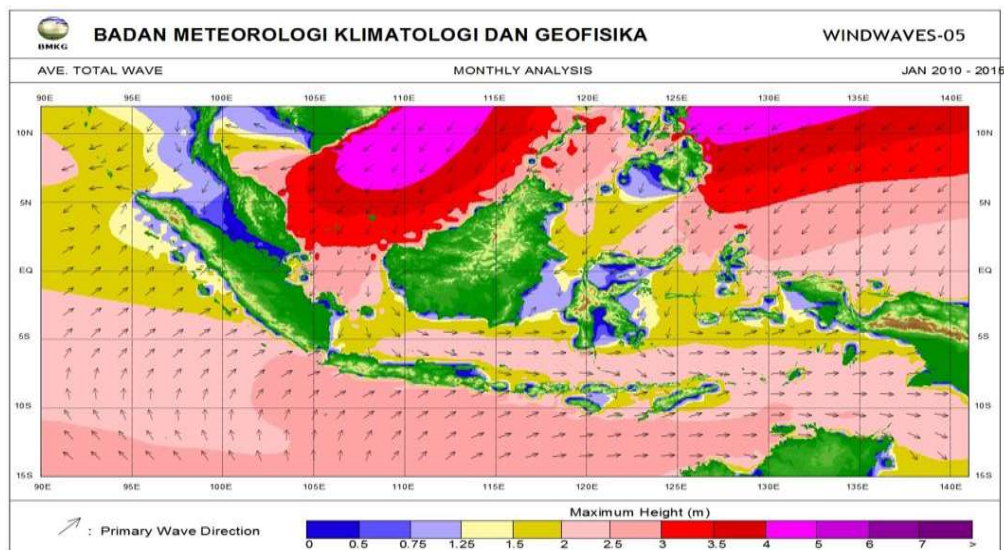
Sedangkan untuk sensor magnetic level gauge, yaitu sensor yang digunakan mendeteksi laju pasang surut, kalibrasi dilakukan dengan menggunakan metode

mapping pemrograman pada modul arduino UNO dibagian buoy. Mapping disesuaikan dengan panjang sensor yang digunakan ($335 \times 1,5 = 502,5 \text{ cm}$) terhadap nilai bit maksimal, yaitu 10 bit = 1023. Adapun desain program mapping yang digunakan, yaitu:

```
data_adc=analogRead(pin_adc);
adc=map(data_adc,0,1023,0,502.5);
```

3.4 Pengambilan Data

Proses pengambilan data dilakukan setelah sistem yang dirancang telah sesuai rancangan desain dari penelitian ini, sehingga dapat dilakukan pengambilan data untuk memperoleh data yang dibutuhkan. Sebagai pendukung pada penelitian ini, maka dilakukan pengambilan data ketinggian gelombang laut (Gelombang Maksimum Rata-Rata Tahun 2010-2015) yang valid dari BMKG, dalam hal ini data didapatkan dari Stasiun BMKG Perak II Surabaya.

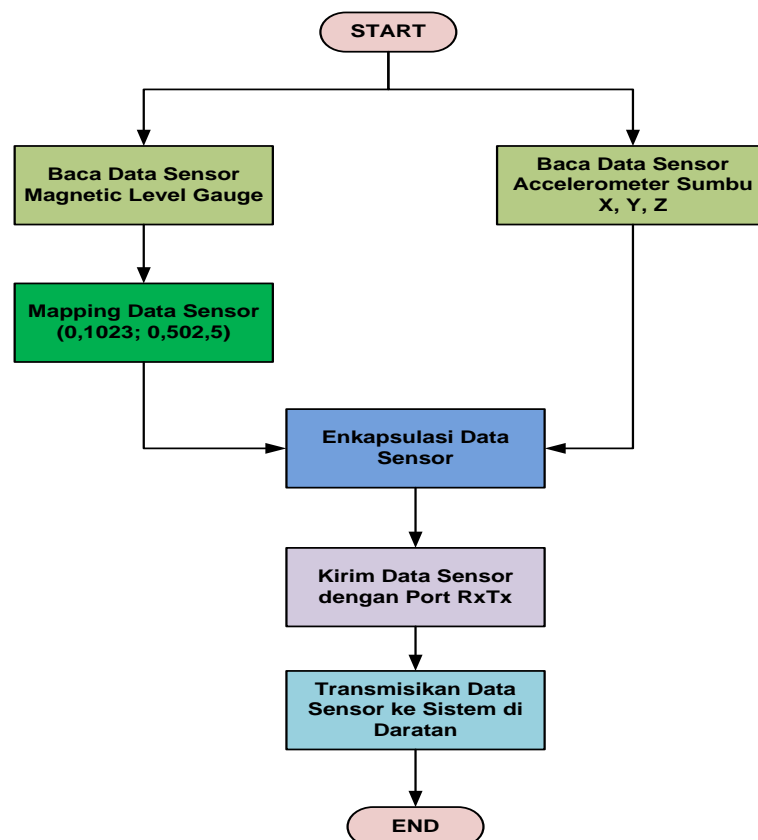


Gambar 3.26 Gelombang Maksimum Rata-Rata Tahun 2010-2015 Untuk Versi Bulan Januari

Data gelombang maksimum rata-rata yang ditunjukkan oleh Gambar 3.34 adalah data gelombang maksimum rata-rata tahun 2010-2015 versi bulan januari, sedangkan untuk data versi bulan februari s/d desember 2010-2015 lebih lengkapnya terlampirkan pada daftar lampiran dari buku tesis ini.

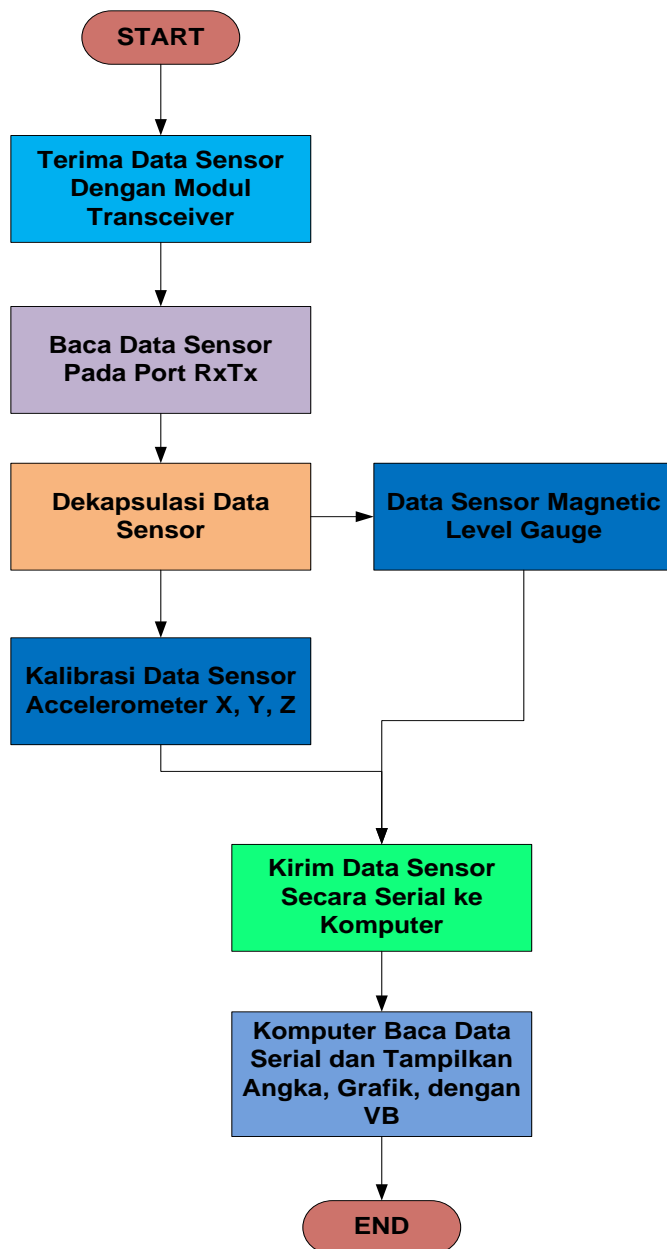
3.5 Flowchart Transmitter dan Receiver

Sistem pendeteksi di buoy terdiri dari dua buah sensor yang menjadi inputan ke dalam arduino. Dua buah sensor tersebut adalah Accelerometer dan Magnetic Level Gauge. Data hasil pembacaan kedua sensor akan dikirimkan ke daratan setelah dilakukan proses enkapsulasi, atau proses pemaketan data. Gambar 3.27 adalah diagram alir dari proses pengiriman data melalui transmitter.



Gambar 3.27 Diagram Alir Sistem Buoy (Transmitter)

Data yang diterima oleh receiver di darat akan didekapsulasikan, atau dibuka kembali untuk diolah sebelum ditampilkan di interface yang telah dibuat dengan Visual Basic. Gambar 3.28 adalah diagram alir data setelah tiba di *receiver*.



Gambar 3.28 Diagram Alir Sistem Darat (Receiver)

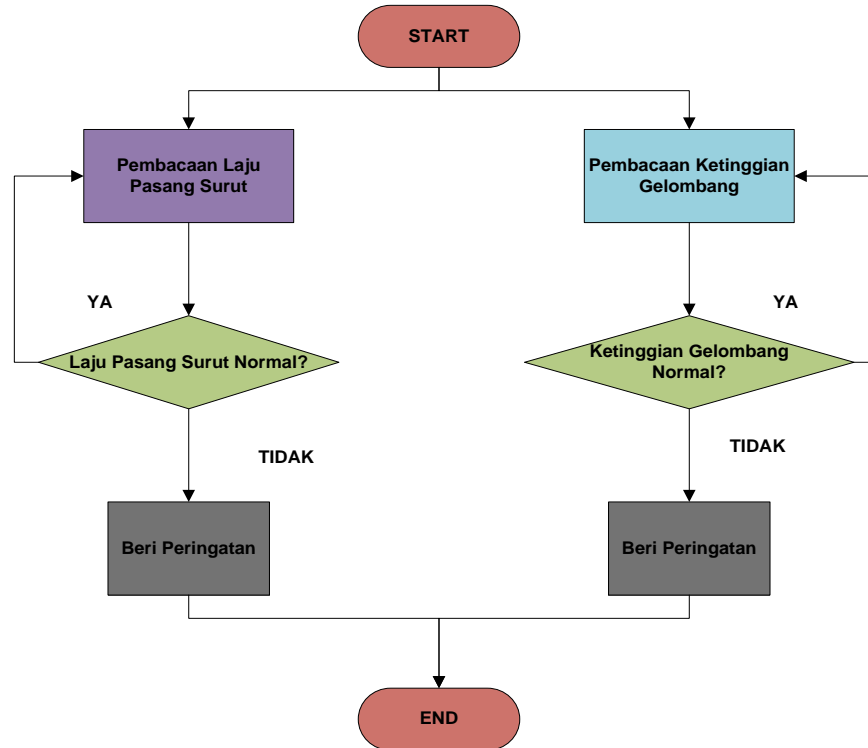
3.6 Pengambilan Keputusan pada Tsunami Early Warning System

Berdasarkan data pasang surut dari badan geospasial yang terdapat di lampiran, fenomena laju pasang surut di lokasi penelitian terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam waktu 24 jam (\pm setiap 6 jam) dengan rata-rata ketinggian pasang surut cenderung sama. Oleh karena itu, di daerah tempat penelitian ini masuk dalam kategori pasang harian ganda. Dengan pasang tertinggi selama setahun adalah 2,7 meter dan surut terendah selama setahun adalah 0,4 meter [18]. Kemudian, berdasarkan data dari BMKG, ketinggian gelombang maksimum yang disebabkan oleh angin (wind wave) dalam kurun waktu 5 tahun yang dibagi berdasarkan bulan dapat dilihat pada tabel 3.5 berikut

Tabel 3.5 Tabel Ketinggian Maksimum Wind Wave

Bulan	Rata-Rata Ketinggian Maksimum
Januari 2010-2015	2 meter
Februari 2010-2015	1,5 meter
Maret 2010-2015	1,25 meter
April 2010-2015	0,75 meter
Mei 2010-2015	0,75 meter
Juni 2010-2015	0,75 meter
Juli 2010-2015	0,75 meter
Agustus 2010-2015	1,25 meter
September 2010-2015	0,75 meter
Oktober 2010-2015	1,25 meter
November 2010-2015	1, 25 meter
Desember 2010-2015	1,25 meter

Dari tabel 3.5, dapat dilihat ketinggian maksimum gelombang di lokasi penelitian yang disebabkan oleh angin adalah 2 meter. Ketinggian rata-rata pasang surut, durasi pasang surut serta ketinggian maksimum wind wave dijadikan referensi dalam mengambil keputusan dalam pengaktifan tsunami early warning system. Diagram alir dari proses pengambilan keputusan warning system dapat dilihat pada gambar 3.29



Gambar 3.29 Diagram alir dari proses pengambilan keputusan warning system

Apabila ketinggian gelombang melebihi ketinggian maksimum data pasang surut, dan data wind wave, maka warning system akan aktif untuk memberi peringatan. Selain dari ketinggian gelombang, durasi surutnya air laut yang lebih cepat dari waktu normal yaitu dalam waktu ± 6 jam, maka warning system juga akan mengeluarkan peringatan.

3.7 Analisis Kinerja Sistem

3.7.1 Link Budget

Pada proses analisis, dilakukan perhitungan matematis dalam menghitung jarak jangkauan sistem berdasarkan link budget. Oleh karena itu, dengan melakukan perhitungan berdasarkan link budget, sehingga dapat diketahui hasil jarak jangkauan

ideal dari sistem komunikasi data yang telah dirancang. Adapun persamaan matematis untuk analisis link budget adalah sebagai berikut.

$$P_R(dl) = E - L_F + G_R - L_R \quad (3.1)$$

$$E(dl) = P_T - L_T + G_T \quad (3.2)$$

$$L_F(d) = 33,24 + 20 \log(F_{MHz}) + 20 \log(D_{km}) \quad (3.3)$$

dengan:

- P_R = Daya yang diterima pada penerima
- E = Daya efektif yang diradiasikan antena
- L_T = Rugi-rugi saluran transmisi pada pemancar
- L_F = *Free Space Loss* atau *Path Loss*
- G_R = *Gain* antena penerima
- L_R = Rugi-rugi saluran transmisi pada penerima

3.7.2 Radio Horizon

Untuk sistem komunikasi data di laut, masih ada beberapa faktor yang perlu diperhitungkan seperti pengaruh *radio horizon* yang diakibatkan oleh lengkungan permukaan bumi dan *multipath fading* yang disebabkan oleh lintasan langsung maupun lintasan pantulan dari permukaan laut. Pada perhitungan ini faktor yang dianggap paling berpengaruh adalah efek akibat adanya *radio horizon*. Jarak jangkauan radio antara sistem *buoy* dan sistem penerima didarat. Untuk mendapatkan jarak *horizon* dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Horizon}_{Km} = 3,569 \sqrt{\text{Tinggi Antena (dalam meter)}} \quad (3.4)$$

3.7.3 Uji Bit Error Rate (BER)

Proses uji BER dilakukan, dengan tujuan untuk mengetahui kehandalan sistem transmitter dan receiver dalam melakukan pengiriman data. Selain itu, dengan

melakukan uji BER dapat diketahui Bit Error Rate yang diakibatkan oleh pengaruh jarak transmisi, penghalang saat transmisi, pengaruh cuaca, dan pengaruh lainnya. Adapun alur prosesnya dengan mengirim sembarang data dalam bentuk bit, kemudian membandingkan data yang dikirim tersebut dengan data yang diterima. Apabila data yang dikirim sama dengan yang diterima, berarti sistem transmitter dan receiver pada kondisi ideal. Tetapi apabila terjadi perbedaan, maka akan dilakukan analisa perhitungan untuk mengetahui nilai error. Adapun persamaan yang digunakan yaitu,

$$BER = \frac{\text{jumlah bit salah}}{\text{jumlah bit dikirim}} \quad (3.5)$$

3.7.4 Konsumsi Daya Baterai

Perhitungan konsumsi daya baterai dilakukan untuk mengetahui lama waktu pengosongan baterai dengan konsumsi daya yang digunakan oleh sistem selama beroperasi. Sehingga dapat diketahui waktu maksimal sistem buoy beroperasi berdasarkan kapasitas baterai digunakan, terhadap kapasitas beban yang digunakan. Adapun persamaan yang digunakan,

$$t \text{ pengosongan baterai} = \frac{\text{kapasitas baterai}}{\text{kapasitas beban}} \times 1 \text{ jam} \quad (3.6)$$

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas mengenai hasil perancangan sistem secara keseluruhan, yaitu meliputi hasil desain buoy, sistem buoy, hasil pengujian komunikasi data antara sistem buoy terhadap sistem penerima di darat, hasil pengambilan data, dan hasil analisis kinerja sistem.

4.1 Realisasi Sistem

Pada bagian ini membahas hasil realisasi sistem dari penelitian ini, yaitu berupa sistem hardware dan software pada bagian sistem buoy maupun penerima di darat. Gambar 4.1 adalah buoy telah berada di perairan selat Makassar.



Gambar 4.1 Desain Buoy

4.1.1 Sistem Hardware

Pada sistem hardware, didapatkan hasil sistem (sistem buoy maupun penerima di darat) yang telah terintegrasi dari beberapa modul. Gambar 4.2 menunjukkan realisasi sistem hardware pada buoy.



Gambar 4.2 Realisasi sistem Buoy

Berdasarkan Gambar 4.2, bahwa realisasi sistem hardware transmitter terdiri atas modul DT-Sense 3 Axis Accelerometer, modul Arduino UNO, modul *transceiver* AC4490-200, antenna 7" MMCX S467FL-5-RMM-915, power supply 12 Volt 14 Ampere, dan permanent magnet. Sedangkan Gambar 4.3 dan Gambar 4.4, menunjukkan sistem hardware penerima di darat.



Gambar 4.3 Realisasi sistem hardware penerima di darat



Gambar 4.4 Antenna penerima sistem di darat

Berdasarkan Gambar 4.3 dan Gambar 4.4, bahwa hasil realisasi sistem hardware penerima di darat terdiri atas modul Arduino UNO, modul *transceiver* AC4490-200, antenna 7" MMCX S467FL-5-RMM-915, komputer server dan power supply. Oleh karena itu dengan mengintegrasikan kedua sistem hardware (sistem buoy maupun penerima di darat), sehingga didapatkan hasil hardware untuk Sistem Komunikasi Data Pada Tsunami Early Warning System yang merupakan topik dari penelitian ini.

4.1.2 Sistem Software

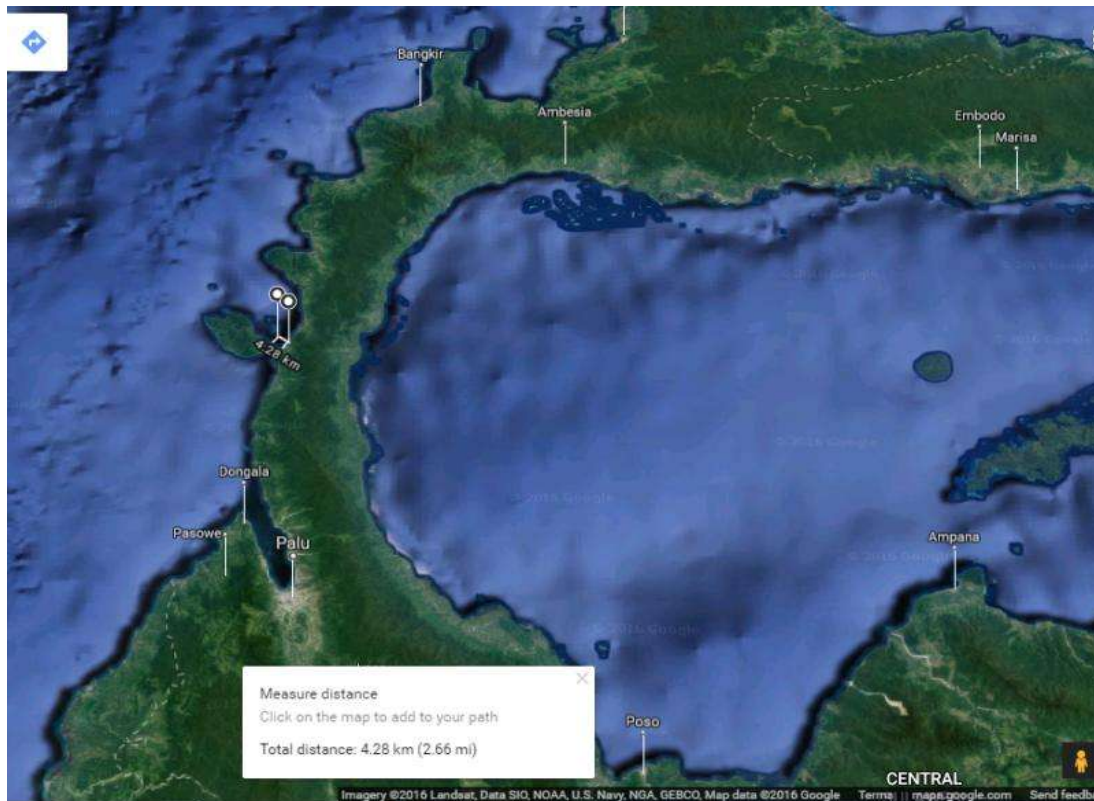
Pada sistem software, didapatkan hasil sistem software pada bagian sistem Buoy maupun penerima di darat. Sistem software pada bagian sistem buoy berfungsi sebagai pendeteksi pergerakan ketinggian gelombang pada sumbu X, Y, Z, dan pendeteksi fenomena laju pasang surut air laut sebagai salah satu tanda pasti akan terjadinya *tsunami*. Kemudian hasil pembacaan sensor akan dikapsulasi dengan menggunakan protokol AX-25. Hasil enkapsulasi data tersebut, dikirim secara serial pada band frekuensi UHF menuju sistem penerima yang terpasang di darat.

Software bagian penerima di darat meneruskan data yang diterima dari modul *transceiver* ke komputer menggunakan komunikasi serial dan ditampilkan pada interface yang telah dibuat berupa grafik pergerakan gelombang yang terbagi menjadi tiga sumbu X, Y, dan Z. Sedangkan data pendeteksi fenomena laju pasang surut air laut, yaitu berupa dalam bentuk tampilan angka. Data tersebut dapat dipantau secara real time tanpa mengirimkan perintah pengiriman data.

4.2 Hasil Pengujian Komunikasi Data

Skenario pengujian komunikasi data dilakukan dengan cara mengirim data sensor accelerometer untuk masing-masing sumbu (X, Y, dan Z), dan data analog. Data yang dikirim dari sistem transmitter, kemudian dibandingkan dengan data yang diterima oleh sistem receiver. Karena proses ini dilakukan di laut, maka hanya dilakukan pada kondisi *Line Of Sight* (LOS). Gambar 4.5 menunjukkan peta lokasi

penelitian yang dilakukan di selat Makassar, tepatnya di daerah kabupaten Donggala propinsi Sulawesi Tengah.



Gambar 4.5 Peta lokasi penelitian

Proses pengujian sekaligus pengambilan data dilakukan setiap satu jam, dengan lama waktu selama 24 jam (tanggal 19 s/d 20 desember 2016). Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengujian komunikasi data dengan jarak $\pm 4,28$ Km dari garis pantai ke sistem buoy.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian 19 s/d 20 Desember 2016 (24 jam)

Waktu	Buoy TxRx (cm)			Ground TxRx (cm)			Data Pasang Surut (cm)		Ket
	X	Y	Z	X	Y	Z	Buoy	Gnd	
6.00 PM	-	-	-	0,42	16,22	-4,66	-	54	Terkirim
7.00 PM	-	-	-	1,8	2,34	-4,56	-	90	Terkirim
8.00 PM	-	-	-	0,44	18,44	-4,26	-	122	Terkirim
9.00 PM	-	-	-	-0,3	1,4	14,72	-	150	Terkirim
10.00 PM	-	-	-	3,64	16,82	6,22	-	182	Terkirim
11.00 PM	-	-	-	2,02	1,26	4,62	-	186	Terkirim
12.00 AM	-	-	-	14,02	0,82	6,22	-	184	Terkirim
01.00 AM	-	-	-	8,02	-1,42	5,62	-	137	Terkirim
02.00 AM	-	-	-	8	-0,22	5,62	-	90	Terkirim
03.00 AM	-	-	-	-1,8	1,3	18,6	-	65	Terkirim
04.00 AM	-	-	-	0,08	0,32	-6,22	-	46	Terkirim
05.00 AM	-	-	-	14	1,44	3,64	-	47	Terkirim
06.00 AM	-	-	-	10	0,64	2,64	-	63	Terkirim
07.00 AM	-12,02	0,84	3,64	-12,02	0,84	3,64	104	104	Terkirim
08.00 AM	0,32	0,86	-16,4	0,32	0,86	-16,4	162	162	Terkirim
09.00 AM	0,34	0,38	-6,3	0,34	0,38	-6,3	174	174	Terkirim
10.00 AM	10,02	0,62	9,02	10,02	0,62	9,02	193	193	Terkirim
11.00 AM	14,04	0,42	2,62	14,04	0,42	2,62	254	254	Terkirim
12.00 PM	-	-	-	14,04	0,52	-6,34	-	222	Terkirim
1.00 PM	-	-	-	0,02	0,5	-3,4	-	162	Terkirim
2.00 PM	5	0,08	-4,5	5	0,08	-4,5	104	104	Terkirim
3.00 PM	-18,08	1,36	-8,08	-18,08	1,36	-8,08	68	68	Terkirim
4.00 PM	0,64	2,34	-14,98	0,64	2,34	-14,98	32	32	Terkirim
5.00 PM	1,62	14,78	-4,56	1,62	14,78	-4,56	38	38	Terkirim

Adapun proses pengujian sekaligus pengambilan data berikut, dilakukan untuk tambahan data. Proses dilakukan setiap satu jam, dengan lama waktu selama 56 jam non stop (tanggal 27 s/d 29 desember 2016), hal ini disebabkan karena kondisi baterai yang digunakan sudah lowbat. Adapun hasil yang didapatkan yaitu ditunjukkan Tabel 4.2, 4.3, dan 4.4, dengan jarak pengujian komunikasi $\pm 4,28$ Km dari garis pantai ke sistem buoy.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian 27 Desember 2016 (24 jam)

Waktu	Buoy TxRx (cm)			Ground TxRx (cm)			Data Pasang Surut (cm)		Ket
	X	Y	Z	X	Y	Z	Buoy	Gnd	
12.00 AM	-	-	-	-7,8	4	-3	-	90	Terkirim
01.00 AM	-	-	-	-10,4	4,02	-14,02	-	60	Terkirim
02.00 AM	-	-	-	-2,2	18,02	-18	-	45	Terkirim
03.00 AM	-	-	-	-10	2,4	-4	-	50	Terkirim
04.00 AM	-	-	-	-3,2	3	-4	-	79	Terkirim
05.00 AM	-	-	-	-10,2	2	-14	-	120	Terkirim
06.00 AM	-	-	-	-7,8	4,8	-11,6	-	149	Terkirim
07.00 AM	-	-	-	-5,8	6,4	-7,8	-	180	Terkirim
08.00 AM	-4,6	6,2	-5,2	-4,6	6,2	-5,2	212	212	Terkirim
09.00 AM	-8	5	-6	-8	5	-6	222	222	Terkirim
10.00 AM	-5,2	6,02	-6	-5,2	6,02	-6	210	210	Terkirim
11.00 AM	-9,6	3,8	-2	-9,6	3,8	-2	180	180	Terkirim
12.00 PM	-	-	-	-8,2	16,02	-16	-	134	Terkirim
1.00 PM	-	-	-	-0,34	0,2	-8,02	-	104	Terkirim
2.00 PM	16	14,02	0	16	14,02	0	66	66	Terkirim
3.00 PM	-12,2	5	-5,8	-12,2	5	-5,8	50	50	Terkirim
4.00 PM	-6	4	-6	-6	4	-6	54	54	Terkirim
5.00 PM	-7,6	-2	-6	-7,6	-2	-6	82	82	Terkirim
6.00 PM	-	-	-	-4,6	10,6	-7	-	102	Terkirim
7.00 PM	-	-	-	-5,6	2,02	-18	-	146	Terkirim
8.00 PM	-	-	-	4,02	10,02	-4	-	172	Terkirim
9.00 PM	-	-	-	-5	5,4	-15,4	-	182	Terkirim
10.00 PM	-	-	-	-8,4	6,8	-8,2	-	168	Terkirim
11.00 PM	-	-	-	1,2	8,4	-18,02	-	146	Terkirim

Tabel 4.3 Hasil Pengujian 28 Desember 2016 (24 jam)

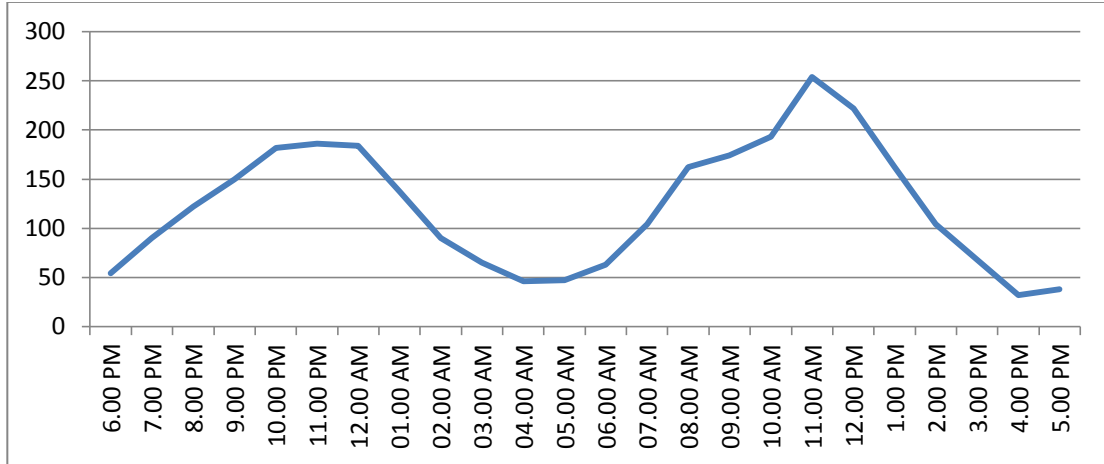
Waktu	Buoy TxRx (cm)			Ground TxRx (cm)			Data Pasang Surut (cm)		Ket
	X	Y	Z	X	Y	Z	Buoy	Gnd	
12.00 AM	-	-	-	-2,4	5,6	-4,4	-	104	Terkirim
01.00 AM	-	-	-	-7	11,2	-4,6	-	66	Terkirim
02.00 AM	-	-	-	-8,8	18,02	-18	-	44	Terkirim
03.00 AM	-	-	-	-8	4,8	-7	-	36	Terkirim
04.00 AM	-	-	-	-8,6	4,6	-3	-	48	Terkirim
05.00 AM	-	-	-	-2,8	10,02	-4	-	90	Terkirim
06.00 AM	-	-	-	-14,2	4	-15	-	134	Terkirim
07.00 AM	-	-	-	-9,2	6,02	-12	-	178	Terkirim
08.00 AM	-4,4	2,02	-16	-4,4	2,02	-16	212	212	Terkirim
09.00 AM	-4,6	7,4	-7,6	-4,6	7,4	-7,6	240	240	Terkirim
10.00 AM	-6	-5,4	-2,2	-6	-5,4	-2,2	234	234	Terkirim
11.00 AM	-4,6	6	-10	-4,6	6	-10	222	222	Terkirim
12.00 PM	-	-	-	-4,2	11,2	-8,2	-	176	Terkirim
1.00 PM	-	-	-	-2,4	4,02	-8	-	132	Terkirim

2.00 PM	-2,4	5,6	-4	-2,4	5,6	-4	82	82	Terkirim
3.00 PM	-8	9,2	-6,2	-8	9,2	-6,2	44	44	Terkirim
4.00 PM	-7,2	2,4	-6,8	-7,2	2,4	-6,8	38	38	Terkirim
5.00 PM	-7,8	7	-12,4	-7,8	7	-12,4	62	62	Terkirim
6.00 PM	-	-	-	-2	18,02	-16	-	90	Terkirim
7.00 PM	-	-	-	-3,4	10,02	-2	-	118	Terkirim
8.00 PM	-	-	-	-14	3,2	-12	-	152	Terkirim
9.00 PM	-	-	-	-8,6	4,2	-6,4	-	174	Terkirim
10.00 PM	-	-	-	-7,4	7,8	-2,6	-	172	Terkirim
11.00 PM	-	-	-	-2,4	16,02	-6	-	144	Terkirim

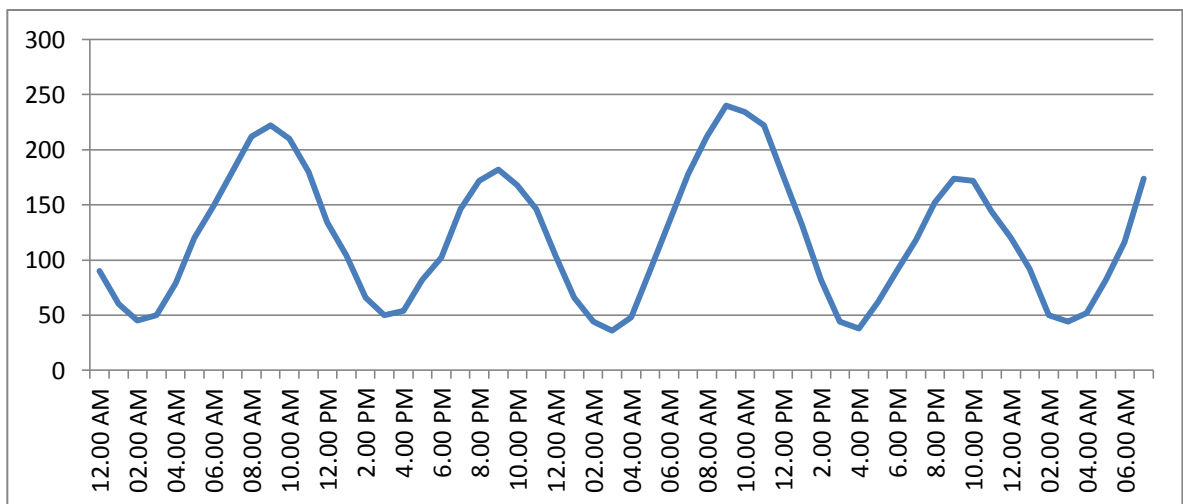
Tabel 4.4 Hasil Pengujian 29 Desember 2016 (8 jam)

Waktu	Buoy TxRx (cm)			Ground TxRx (cm)			Data Pasang Surut (cm)		Ket
	X	Y	Z	X	Y	Z	Buoy	Gnd	
12.00 AM	-	-	-	-8,2	4,2	-6	-	120	Terkirim
01.00 AM	-	-	-	-4,4	8	-5,6	-	92	Terkirim
02.00 AM	-	-	-	-5	12	-12	-	50	Terkirim
03.00 AM	-	-	-	-9,2	8,8	-12,8	-	44	Terkirim
04.00 AM	-	-	-	-6	5,6	-6	-	52	Terkirim
05.00 AM	-	-	-	-10,6	6,8	-9,8	-	82	Terkirim
06.00 AM	-	-	-	-9,4	2,02	-2	-	116	Terkirim
07.00 AM	-	-	-	-5,4	4,6	4,4	-	174	Terkirim

Hasil pada tabel data yang ditampilkan pada masing-masing sumbu (X, Y, Z), dan data laju pasang surut adalah berupa data sebenarnya yang telah dikonversi dengan menggunakan satuan cm (senti meter). Adapun sumber data dari tabel ini yaitu terdapat pada lampiran, yang merupakan hasil capture pada saat pengambilan data. Sedangkan untuk mengetahui laju pasang surut, dapat diketahui dengan hasil grafik dari tabel seperti yang ditunjukkan Gambar 4.6 (untuk tabel 4.1), dan untuk Tabel 4.2, 4.3, 4.4, ditunjukkan oleh Gambar 4.7.



Gambar 4.6 Grafik pasang surut 19 s/d 20 Desember 2016 (24 jam)



Gambar 4.7 Grafik pasang surut 27 s/d 29 Desember 2016 (56 jam)

Berdasarkan dari hasil grafik yang ditampilkan pada Gambar 4.6 dan 4.7, bahwa fenomena laju pasang surut terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam waktu 24 jam dengan rata-rata ketinggian pasang surut cenderung sama. Oleh karena itu, bahwa didaerah tempat penelitian ini masuk dalam kategori pasang harian ganda. Selain itu, berdasarkan grafik ini, dapat diketahui laju pasang menuju surut ± 6 jam, begitu pula sebaliknya (surut menuju pasang). Oleh karena itu, apabila terjadi fenomena pasang surut lebih cepat dari data diatas, maka hal tersebut harus

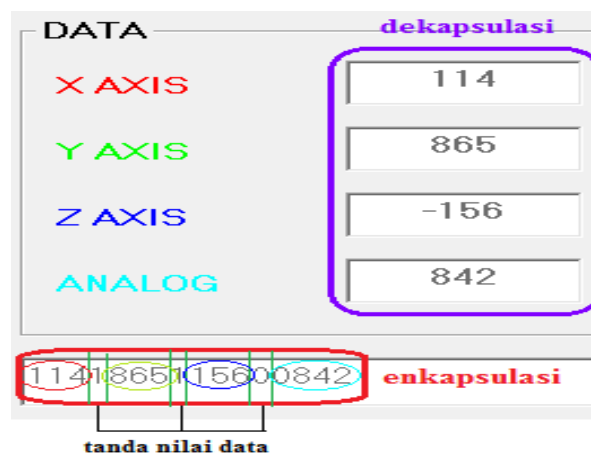
diwaspadai. Karena fenomena laju pasang surut yang lebih cepat dari waktu normal, merupakan fenomena tanda akan terjadi tsunami dengan tingkat keakuratan sampai 100%.

4.3 Hasil Pengambilan Data

Dari hasil pengujian komunikasi data yang dilakukan, sehingga diperoleh data hasil dekapsulasi untuk masing-masing sumbu (X, Y, Z) dan data laju pasang surut. Oleh karena itu dari hasil data yang diperoleh tersebut, maka didapatkan data berupa akselerasi gelombang pada masing-masing sumbu (X, Y, Z) dan data laju pasang surut. Berdasarkan data tersebut, sehingga dapat dilakukan analisis karakteristik gelombang dan laju pasang surut.

4.3.1 Dekapsulasi Data

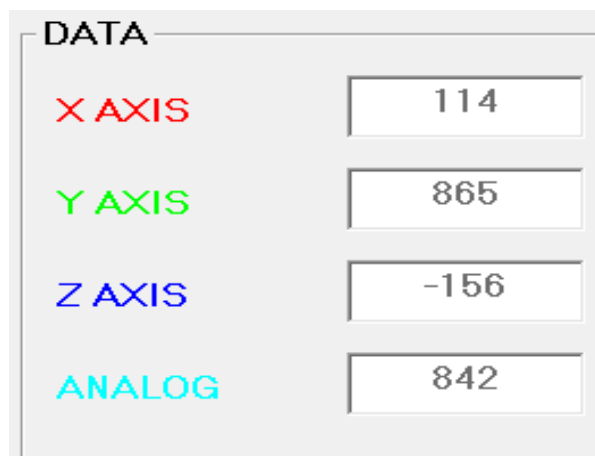
Data ini merupakan hasil enkapsulasi data sensor menggunakan AX-25, yang kemudian ditransmisikan oleh sistem Buoy. Data ini terdiri atas 16 bit untuk masing-masing sumbu (X, Y, Z) data analog laju pasang surut, masing-masing sumbu terdiri atas 4 bit data. Data 4 bit tersebut terbagi menjadi 3 bit data sebenarnya (kecuali data analog laju pasang surut), dan 1 bit sebagai tanda nilai data apakah data bernilai plus (+) atau data bernilai minus (-). Untuk data yang bernilai plus, maka digunakan tanda desimal 1 (satu), sedangkan untuk data bernilai minus, digunakan tanda desimal 0 (nol). Lebih jelasnya seperti pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Dekapsulasi data

4.3.2 Data Desimal

Setelah dilakukan dekapsulasi, maka diperoleh data hasil dekapsulasi yang masih merupakan data desimal 10 bit untuk masing-masing sumbu (X, Y, Z) dan data analog laju pasang surut (0 s/d 1023). Data tersebut masih berupa data yang belum diubah menjadi satuan asli dari objek terukur, dalam hal ini ketinggian gelombang pada sumbu (X, Y, Z) dan laju pasang surut. Gambar 4.9 data desimal hasil dekapsulasi.



X AXIS	114
Y AXIS	865
Z AXIS	-156
ANALOG	842

Gambar 4.9 Data desimal hasil dekapsulasi

4.3.3 Data Hasil Kalibrasi

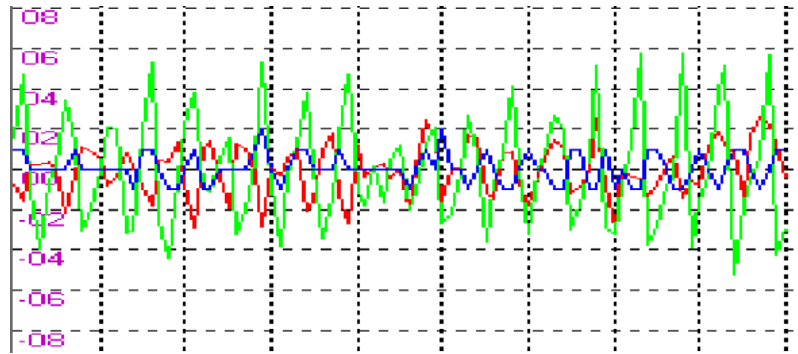
Setelah melakukan dekapsulasi data untuk masing-masing sumbu (X, Y, Z), dan data analog laju pasang surut, maka diperoleh data desimal. Sehingga dilakukan proses kalibrasi data desimal untuk mendapatkan data dengan satuan sebenarnya terhadap objek yang terukur dalam hal ini ketinggian gelombang pada sumbu (X, Y, Z) dan data analog laju pasang surut. Adapun satuan data yaitu menggunakan satuan dalam ukuran cm (senti meter). Gambar 4.11 menunjukkan perubahan data desimal (kolom merah) masing-masing sumbu (X, Y, dan Z) dan data pasang surut, menjadi data dengan nilai satuan sebenarnya (kolom hijau).

DATA			
X AXIS	114	5.7	
Y AXIS	865	43.25	
Z AXIS	-156	-7.8	
ANALOG	842	42.1	

Gambar 4.10 Data desimal menjadi data dalam satuan sebenarnya

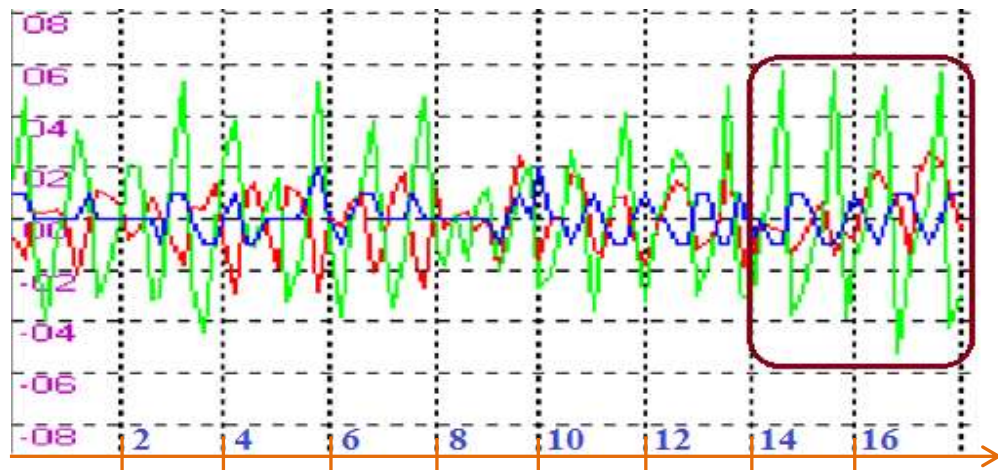
4.3.4 Data Gelombang

Data gelombang pada penelitian ini, merupakan data interface gelombang laut yang terdeteksi oleh sistem buoy. Gelombang pada tampilan interface merepresentasikan keadaan gelombang sebenarnya dengan 3 sumbu, yaitu X Y Z. Sumbu X merepresentasikan pergerakan horizontal kekiri dan kekanan, dari objek gelombang laut. Sumbu Y merepresentasikan pergerakan vertikal keatas dan kebawah, dari objek gelombang laut. Sedangkan untuk sumbu Z merepresentasikan pergerakan kedepan dan kebelakang dari objek gelombang laut. Berdasarkan penjelasan masing-masing sumbu, pada penelitian ini lebih mengutamakan meninjau data yang dihasilkan oleh sumbu Y. Gambar 4.11 menunjukkan data gelombang terukur pada sumbu X Y Z.



Gambar 4.11 Data gelombang terukur pada sumbu X Y Z

Berdasarkan Gambar 4.11, sumbu X (merah), sumbu Y (hijau), sumbu Z (biru), dapat dilakukan analisis untuk mendapatkan data ketinggian gelombang, frekuensi gelombang, dan kecepatan gelombang. Untuk mengetahui karakteristik dari gelombang laut khususnya gelombang tsunami, cukup dengan menganalisis data gelombang yang dihasilkan oleh sumbu Y (hijau). Pada Gambar 4.12 adalah penggalan data gelombang sumbu Y yang akan dianalisis untuk mendapatkan data ketinggian, panjang, dan kecepatan gelombang laut.



Gambar 4.12 Data gelombang sumbu Y (hijau) untuk dianalisis

Berdasarkan Gambar 4.12, dapat dilakukan analisis terhadap sumbu Y (hijau) yang berada dalam kolom untuk mengetahui tinggi, panjang, dan kecepatan

gelombang laut. Berdasarkan Gambar 4.12 tinggi gelombang (H) kurang lebih = 60 cm (per div = 20 cm), panjang gelombang untuk satu periode = 1,4 meter (per div = 2 meter) pada 140 ms (per div = 200 ms). Dari kedua referensi data tersebut, maka dapat diketahui frekuensi (F) dan kecepatan gelombang (V) laut menuju garis pantai. Adapun proses analisis frekuensi dan kecepatan gelombang laut yaitu:

Frekuensi gelombang :

$$F = \frac{1}{T}$$

$$= \frac{1}{140 \times 10^{-3}} = 7,14 \text{ Hz}$$

Kecepatan gelombang :

$$V = H \times F$$

$$= 0,6 \times 7,14 = 4,28 \text{ m/s}$$

Menjadi Km/Jam:

$$V = 4,28 \times 3600$$

$$= 15,4 \text{ Km/Jam}$$

Setelah diketahui kecepatan gelombang laut, maka dapat diketahui waktu tempuh gelombang tersebut untuk mencapai garis pantai. Jarak (S) sistem Buoy dari garis pantai sejauh 4,28 Km, maka waktu tempuh (V) gelombang tersebut menuju garis pantai dapat diketahui. Adapun prosesnya yaitu:

Waktu tempuh gelombang pada jarak 4,28 Km:

$$S = V \times T; \text{ sehingga } V = \frac{S}{T}$$

$$V = \frac{4,28 \text{ Km}}{15,4 \text{ Km/Jam}} = 0,27 \text{ Jam};$$

$$= 0,27 \times 60 = 16,67 \text{ menit}$$

Berdasarkan hasil analisa data gelombang pada Gambar 4.11, dengan jarak sistem Buoy 4,28 Km dari garis pantai, maka waktu maksimal untuk melakukan mitigasi (penyelamatan) terhadap bahaya gelombang tsunami yaitu 0,27 jam atau 16,67 menit terhitung sejak gelombang tsunami terdeteksi oleh sistem buoy.

4.4 Link Budget

Analisis kinerja sistem dilakukan dengan menghitung jarak jangkauan sistem berdasarkan link budget, sehingga dapat diketahui hasil jarak jangkauan ideal dari sistem komunikasi data yang telah dirancang. Apabila diasumsikan daya (P_{TX}) yang digunakan adalah 8 dBm dengan gain antenna 3 dBi, rugi-rugi saluran transmisi sekitar 2 dB, sensitivitas penerima -100 dBm dan frekuensi 900 MHz. Sehingga link budget idealnya, dapat diketahui yaitu dengan persamaan berikut:

Daya efektif radiasi antenna:

$$\begin{aligned} \text{EIRP} &= P_{TX} - L_R + G_T \\ &= 8 \text{ dBm} - 2 \text{ dB} + 3 \text{ dBi} \\ &= 9 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Daya minimal yang diterima pada penerima:

$$\begin{aligned} P_{RX} \text{ minimal} &= \text{sensitivitas penerima} + L_R - G_R \\ &= -100 \text{ dBm} + 2 \text{ dB} - 3 \text{ dBi} \\ &= -101 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Free space loss atau path loss:

$$\begin{aligned} L_{FS} \text{ maksimum} &= \text{EIRP} - P_{RX} \text{ minimal} \\ &= 9 - (-101) \\ &= 110 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan rugi-rugi propagasi (*path loss*), maka jarak maksimum dapat diperoleh:

$$L_{FS} \text{ maksimum} = 32,44 + 20 \log(F_{MHz}) + 20 \log(D_{Km})$$

$$110 = 32,44 + 20 \log(900) + 20 \log(D_{Km})$$

$$110 = 32,44 + 59,08 + 20 \log(D_{Km})$$

$$20 \log(D_{Km}) = 110 - 32,44 - 59,08$$

$$\log(D_{Km}) = 18,48/20$$

$$D_{Km} = 10^{0,924}$$

$$D = 8,39 \text{ Km}$$

4.5 Radio Horizon

Untuk sistem komunikasi data di laut, masih ada beberapa faktor yang perlu diperhitungkan seperti pengaruh *radio horizon* yang diakibatkan oleh lengkungan permukaan bumi dan *multipath fading* yang disebabkan oleh lintasan langsung maupun lintasan pantulan dari permukaan laut. Pada perhitungan ini faktor yang dianggap paling berpengaruh adalah efek akibat adanya *radio horizon*. Jarak jangkauan radio antara sistem buoy dan system penerima didarat. Pada penelitian ini menggunakan tinggi antenna 3 meter, tapi dalam praktek dilapangan tinggi antenna bisa berubah-ubah, hal ini dipengaruhi oleh pasang surut maupun gelombang laut. Sehingga dengan menggunakan persamaan (3.4), maka didapatkan hasil:

$$\text{Horizon}_{Km} = 3,569 \sqrt{\text{Tinggi Antena (dalam meter)}}$$

$$\text{Horizon}_{Km} = 3,569 \sqrt{2}$$

$$= 5,04 \text{ Km}$$

$$\text{Horizon}_{Km} = 3,569 \sqrt{\text{Tinggi Antena (dalam meter)}}$$

$$\text{Horizon}_{Km} = 3,569 \sqrt{2,5}$$

$$= 5,64 \text{ Km}$$

$$\text{Horizon}_{\text{Km}} = 3,569\sqrt{\text{Tinggi Antena (dalam meter)}}$$

$$\begin{aligned}\text{Horizon}_{\text{Km}} &= 3,569\sqrt{3} \\ &= 6,17 \text{ Km}\end{aligned}$$

$$\text{Horizon}_{\text{Km}} = 3,569\sqrt{\text{Tinggi Antena (dalam meter)}}$$

$$\begin{aligned}\text{Horizon}_{\text{Km}} &= 3,569\sqrt{3,5} \\ &= 6,67 \text{ Km}\end{aligned}$$

$$\text{Horizon}_{\text{Km}} = 3,569\sqrt{\text{Tinggi Antena (dalam meter)}}$$

$$\begin{aligned}\text{Horizon}_{\text{Km}} &= 3,569\sqrt{4} \\ &= 7,14 \text{ Km}\end{aligned}$$

Tabel 4.5 Variasi Tinggi Antena Terhadap Radio Horizon

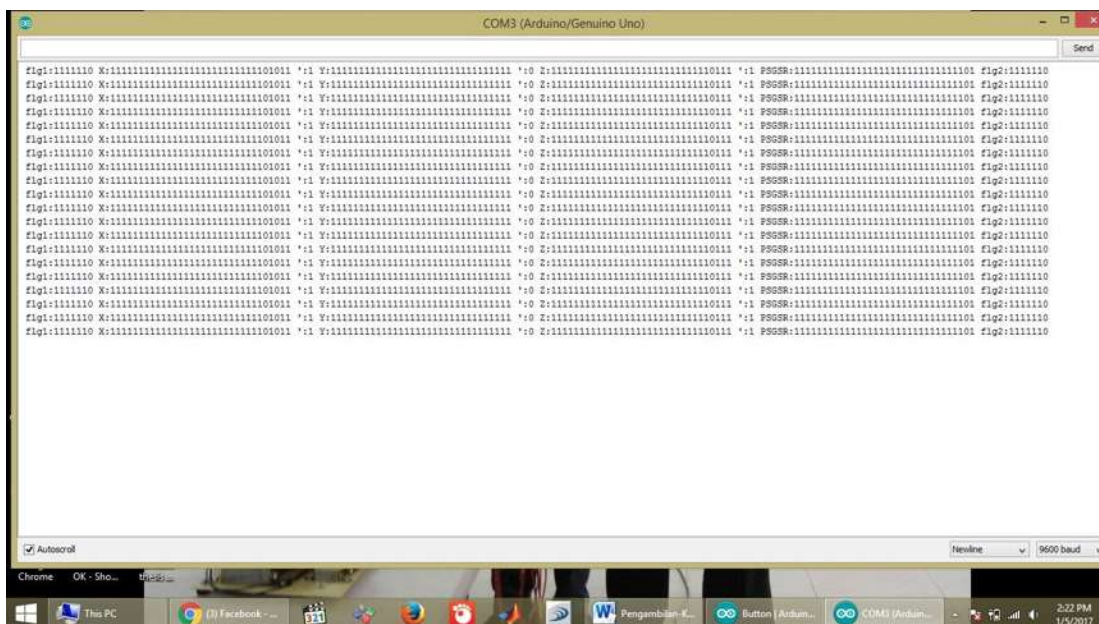
No.	Variasi Tinggi Antena (m)	Radio Horizon (km)
1.	2	5,04
2.	2,5	5,64
3.	3	6,17
4.	3,5	6,67
5.	4	7,14

Berdasarkan hasil perhitungan beberapa variasi tinggi antenna yang disajikan pada Tabel 4.3, terlihat bahwa variasi tinggi antenna yang diakibatkan oleh pengaruh pasang surut dan gelombang laut, dapat membuat membuat nilai radio horizon berubah-ubah.

4.6 Uji Bit Error Rate (BER)

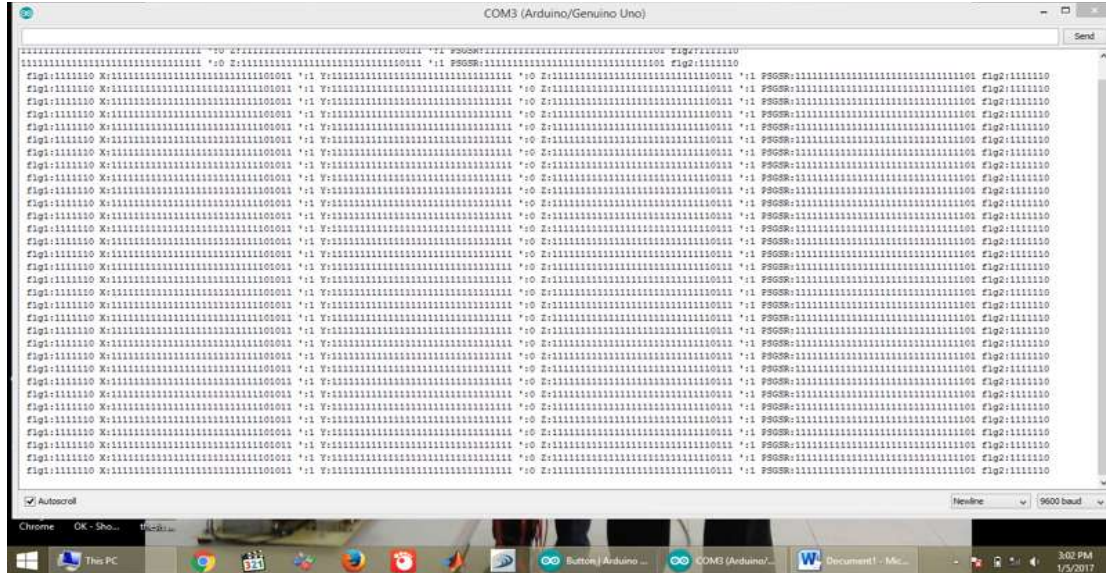
Adapun alur prosesnya dengan mengirim sembarang data dalam bentuk bit, kemudian membandingkan data yang dikirim tersebut dengan data yang diterima. Apabila data yang dikirim sama dengan yang diterima, berarti sistem transmitter dan receiver pada kondisi ideal. Tetapi apabila terjadi perbedaan, maka akan dilakukan analisa perhitungan untuk mengetahui nilai error. Untuk membandingkan data, pada

proses ini mempunyai data referensi yang diambil dengan jarak transmisi sekitar 5 meter. Setelah didapatkan data referensi pembanding, maka dilakukan proses pengambilan data yaitu dengan melakukan variasi jarak transmisi pada kondisi NLOS, deangan variasi jarak transmisi 0.5 Km, 1 Km, 1.5 Km, 2 Km, 2.5 Km, dan 3 Km. Gambar 4.13 menunjukkan hasil plot data referensi.



Gambar 4.13 Hasil plot data referensi

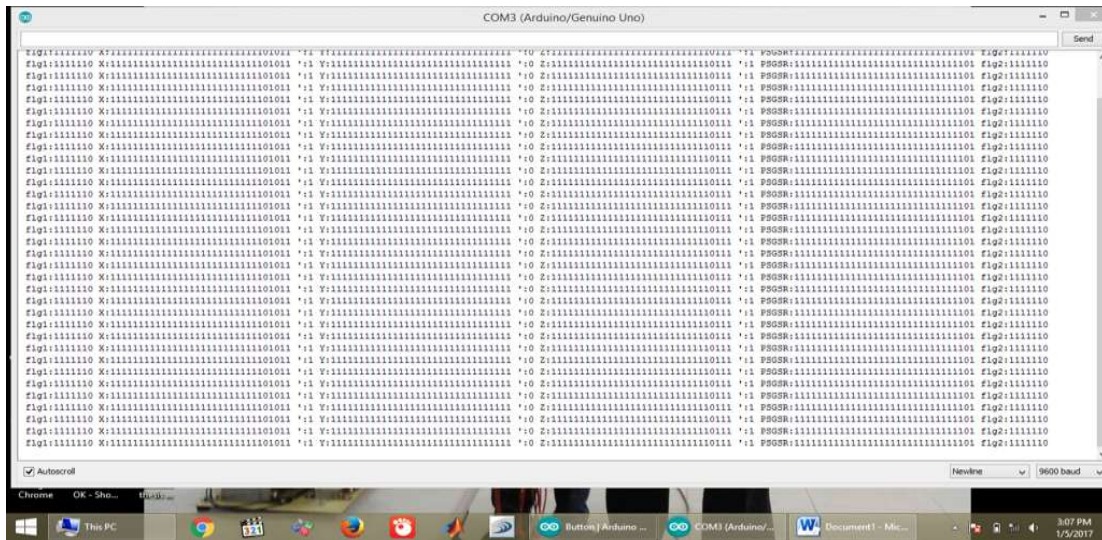
Setelah didapatkan data referensi, maka dilakukan pengiriman data biner sesuai dengan jarak transmisi yang telah ditentukan. Adapun data yang dikirim sebesar 143 bit untuk setiap paket (16 bit untuk 2 flag, 3 bit untuk 3 tanda, 124 bit untuk 4 data X Y Z dan pasang surut). Kemudian proses perhitungan BER dilakukan setiap 7 paket data ($7 \times 143 = 1001$ bit, atau 125.125 byte). Gambar 4.14 adalah hasil plot data pada jarak transmisi 0.5 Km.



Berdasarkan Gambar 4.14 hasil plot data pada jarak transmisi 0.5 Km, jika diperhatikan secara teliti untuk 7 paket data dan dibandingkan dengan data referensi, tidak terdapat error ($\text{error} = 0$). Oleh karena itu, kondisi ini masih dianggap ideal. Gambar 4.15 adalah hasil plot data pada jarak transmisi 1 Km.

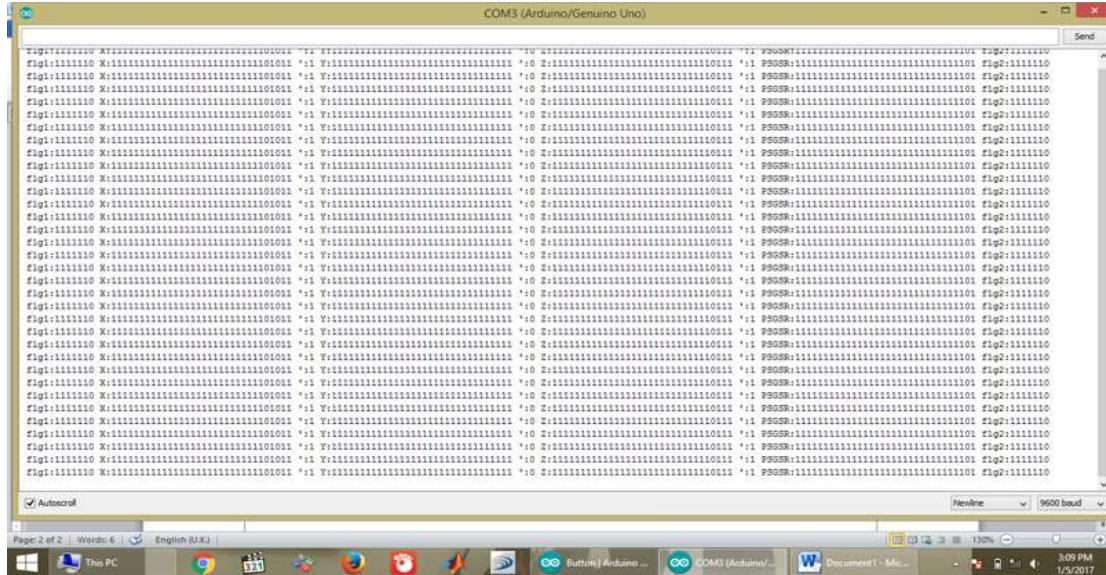


Berdasarkan Gambar 4.15 hasil plot data pada jarak transmisi 1 Km, jika diperhatikan secara teliti untuk 7 paket data dan dibandingkan dengan data referensi, tidak terdapat error (error = 0). Oleh karena itu, kondisi ini masih dianggap ideal. Gambar 4.16 adalah hasil plot data pada jarak transmisi 1.5 Km.



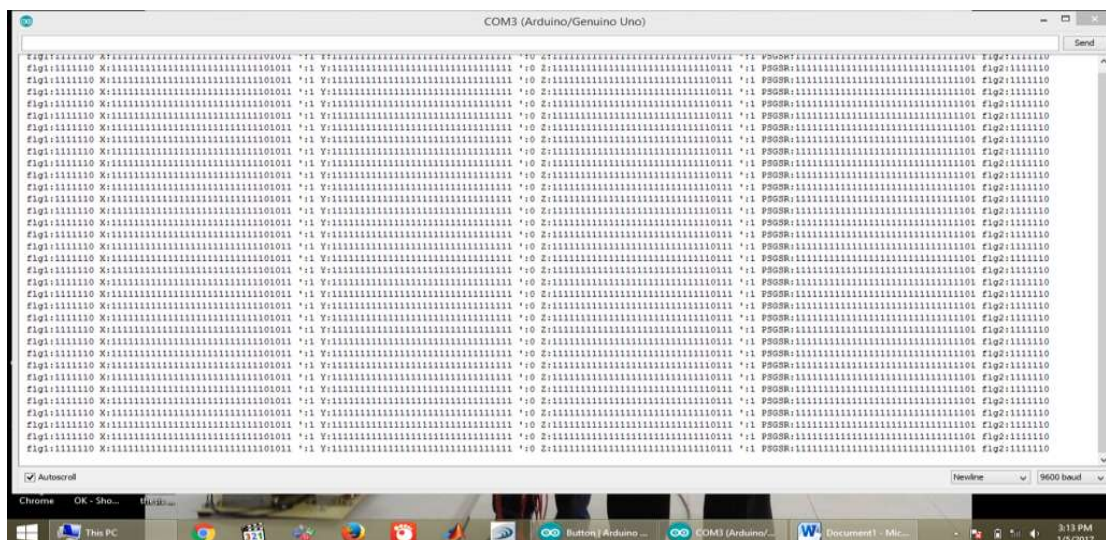
Gambar 4.16 Plot data pada jarak transmisi 1.5 Km

Berdasarkan Gambar 4.16 hasil plot data pada jarak transmisi 1.5 Km, jika diperhatikan secara teliti untuk 7 paket data dan dibandingkan dengan data referensi, tidak terdapat error (error = 0). Oleh karena itu, kondisi ini masih dianggap ideal. Gambar 4.17 adalah hasil plot data pada jarak transmisi 2 Km.



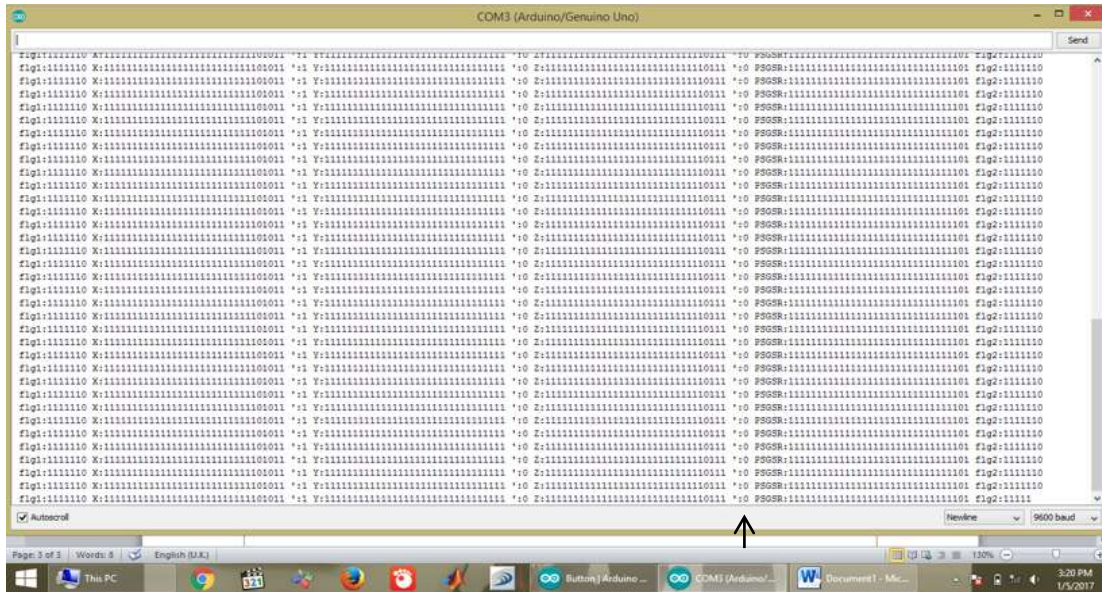
Gambar 4.17 Plot data pada jarak transmisi 2 Km

Berdasarkan Gambar 4.17 hasil plot data pada jarak transmisi 2 Km, jika diperhatikan secara teliti untuk 7 paket data dan dibandingkan dengan data referensi, tidak terdapat error (error = 0). Oleh karena itu, kondisi ini masih dianggap ideal. Gambar 4.18 adalah hasil plot data pada jarak transmisi 2.5 Km.



Gambar 4.18 Plot data pada jarak transmisi 2.5 Km

Berdasarkan Gambar 4.18 hasil plot data pada jarak transmisi 2.5 Km, jika diperhatikan secara teliti untuk 7 paket data dan dibandingkan dengan data referensi, tidak terdapat error (error = 0). Oleh karena itu, kondisi ini masih dianggap ideal. Gambar 4.19 adalah hasil plot data pada jarak transmisi 3 Km.



Gambar 4.19 Plot data pada jarak transmisi 3 Km

Berdasarkan dari enam perbedaan jarak transmisi tersebut, lima kondisi tidak terjadi error atau bisa disebut kondisi ideal. Sedangkan satu kondisi pada jarak transmisi 3 Km, terjadi error yaitu 1 data bit untuk tiap paket, sehingga terjadi 7 error dari 7 paket data (1001 bit) pada data hasil transmisi terhadap data referensi pembanding. Tabel 4.6 menunjukkan nilai error yang didapatkan pada masing-masing jarak.

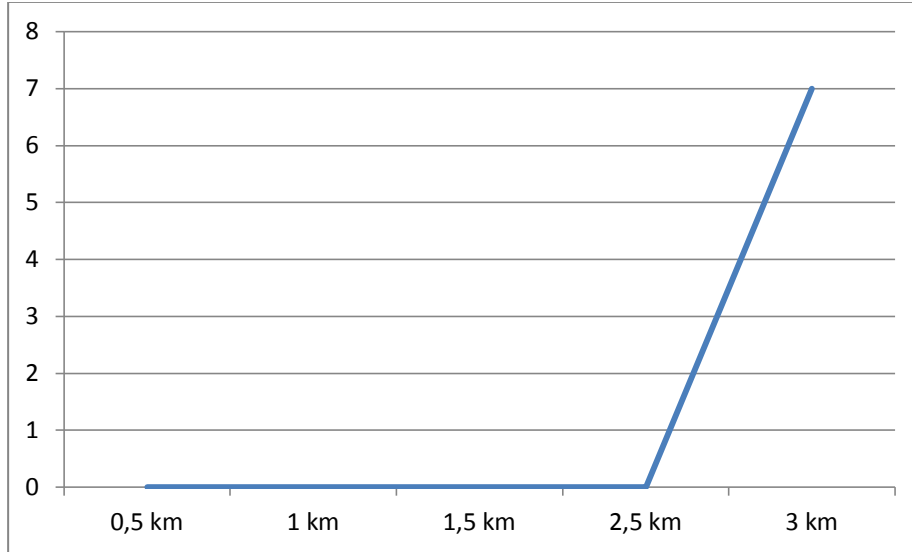
Tabel 4.6 Tabel Hasil Uji Bit Error Rate

Jarak (km)	Error
0,5	0
1	0
1,5	0
2	0
2,5	0
3	7

Untuk mengetahui error dari data error tersebut, maka dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan (3.5) sehingga:

$$\begin{aligned}BER &= \frac{\text{jumlah error diterima}}{\text{jumlah bit dikirim}} \\&= \frac{7 \text{ bit}}{1001 \text{ bit}} \\&= 0,00699\end{aligned}$$

Sehingga berdasarkan data hasil perhitungan BER pada kondisi jarak transmisi 3 Km, bahwa terjadi data error sebesar 0,00699. Jika digambarkan dalam bentuk grafik, maka tampilannya seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.20



Gambar 4.20 Grafik Error untuk 7 paket data (1001 bit)

4.7 Konsumsi Daya Baterai

Perhitungan daya tahan baterai dilakukan untuk mengetahui lama waktu pengosongan baterai dengan konsumsi daya yang digunakan oleh sistem selama beroperasi. Pada penelitian ini digunakan baterai dengan kapasitas 12V/14AH dengan konsumsi daya pada sistem buoy yaitu sebesar 12V/0,2 AH. Sehingga,

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 \text{Daya Baterai} &= 12\text{V}/14 \text{ AH} \\
 &= 12\text{V} \times 14 \text{ AH} \\
 &= 168 \text{ WH}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Konsumsi Daya} &= 12\text{V}/0,2 \text{ AH} \\
 &= 12\text{V} \times 0,2 \text{ AH} \\
 &= 2,4 \text{ WH}
 \end{aligned}$$

Maka waktu pengosongan adalah,

$$\begin{aligned} t_{\text{pengosongan baterai}} &= \frac{\text{kapasitas baterai}}{\text{kapasitas beban}} \times 1 \text{ jam} \\ &= \frac{168 \text{ WH}}{2,4 \text{ WH}} \times 1 \text{ jam} \\ &= 70 \text{ jam, jika efisiensi baterai } 100 \% \end{aligned}$$

4.8 Pembahasan

Sistem EWS yang dibuat pada penelitian ini, dapat mendeteksi tanda akan terjadi tsunami maupun pada saat tsunami telah terjadi. Adapun tanda akan terjadi tsunami, akan dideteksi oleh sensor Magnetic Level Gauge yaitu berupa fenomena laju surut air laut yang merupakan tanda dengan keakuratan sampai 100% apabila laju surut air laut lebih cepat dari biasanya (waktu normal). Berdasarkan data pasang surut dari badan geospasial yang terdapat di lampiran, fenomena laju pasang surut di lokasi penelitian terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam waktu 24 jam dengan rata-rata ketinggian pasang surut cenderung sama. Oleh karena itu, bahwa di daerah tempat penelitian ini masuk dalam kategori pasang harian ganda. Dengan pasang tertinggi selama setahun adalah 2,7 meter dan surut terendah selama setahun adalah 0,4 meter. Diketahui bahwa lokasi penelitian memiliki durasi pasang-surut setiap ± 6 jam.

Sedangkan untuk mendeteksi ketinggian gelombang ketika tsunami telah terbentuk, digunakan sensor accelerometer dengan memperhatikan output sensor sumbu Y sehingga dapat diketahui tinggi gelombang, frekuensi gelombang dan kecepatan gelombang sebelum sampai di daratan. Diketahui bahwa ketinggian maksimum gelombang di lokasi penelitian yang disebabkan oleh angin adalah 2 meter. Selain ketinggian gelombang yang disebabkan oleh angin, ketinggian gelombang tsunami juga menjadi referensi.

Ketinggian rata-rata pasang surut, durasi pasang surut serta ketinggian maksimum wind wave serta tinggi gelombang tsunami (mulai dari 3 meter) dijadikan

referensi dalam mengambil keputusan dalam pengaktifan tsunami early warning system. Apabila ketinggian gelombang melebihi ketinggian maksimum data pasang surut dan data wind wave, maka warning system akan aktif untuk memberi peringatan. Selain dari ketinggian gelombang, durasi surutnya air laut yang lebih cepat dari waktu normal yaitu dalam waktu ± 6 jam, maka warning system juga akan mengeluarkan peringatan. Peringatan di daerah pesisir diberitahukan dengan peringatan alarm.

BAB 5

PENUTUP

Pada bab ini diuraikan beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari pembahasan sebelumnya, dan saran mengenai masalah yang bisa dibahas sebagai kelanjutan dari penelitian ini.

5.1 Kesimpulan

1. Gelombang radio *Ultra High Frequency* (UHF) 902.5 MHz pada modul *Transceiver* AC4490-200 dapat digunakan sebagai alternatif pengganti satelit untuk media komunikasi data sistem pendeteksi tsunami pada *Tsunami Early Warning System* di area-area yang belum tercover *Tsunami Early Warning System*.
2. Gelombang Radio UHF 902.5 MHz pada Tranceiver AC4490-200 dan protokol AX-25, mampu mengirim data sensor dengan jarak 4,28 Km dengan konsumsi daya sebesar 2,4 Watt.
3. *Accelerometer 3 Axis* yang diterapkan pada penelitian ini, dapat digunakan untuk memantau pergerakan gelombang permukaan laut dengan 3 sumbu (X, Y, dan Z). Sumbu X untuk pergerakan kiri dan kanan buoy, sumbu Y untuk pergerakan naik dan turun buoy, dan sumbu Z untuk pergerakan depan dan belakang dari buoy.
4. Sensor magnetic level gauge yang dibuat pada penelitian ini, dapat diterapkan untuk mendeteksi laju pasang surut air laut, dengan tingkat resolusi 1,5 cm.
5. Berdasarkan data hasil perhitungan BER pada kondisi jarak transmisi 3 Km, bahwa terdapat error sebesar 0,0069.

5.2 Saran

Penelitian ini dapat dikembangkan dengan menambah daya transmisi yang lebih besar sehingga sistem dapat diaplikasikan pada jarak yang lebih jauh lagi.

Penambahan *solar cell* pada sistem sebagai sumber energi listrik pengisi baterai dapat menjadi salah satu pengembangan sistem ini. Selain itu diharapkan untuk kedepannya sistem ini dapat terintegrasi dengan sistem jaringan internet, sehingga tidak hanya bersifat lokal dan datanya dapat diakses oleh khalayak ramai.

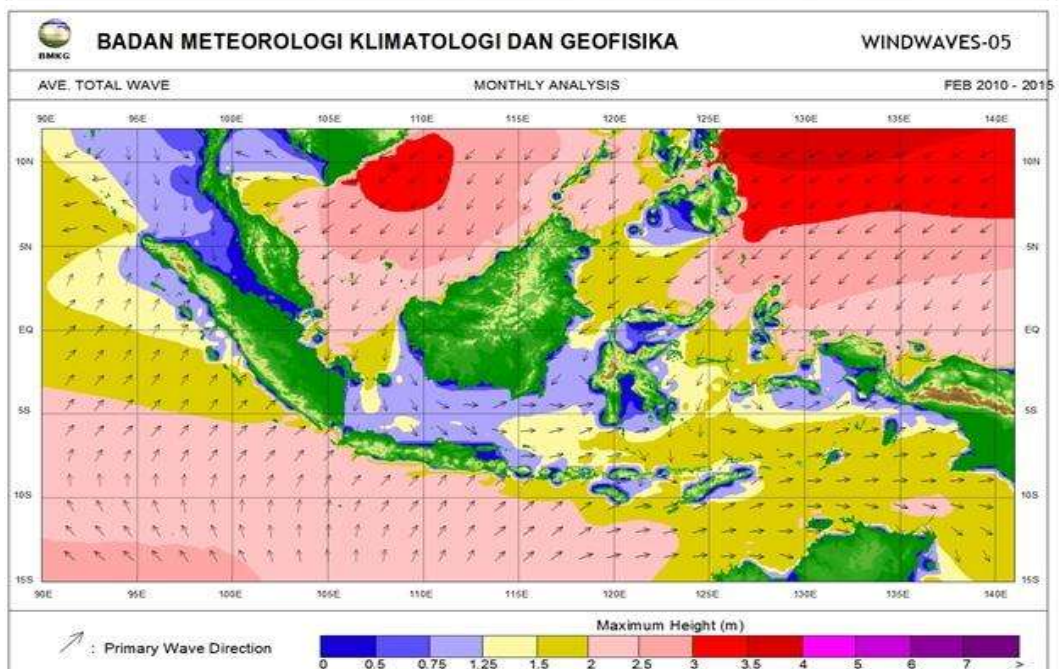
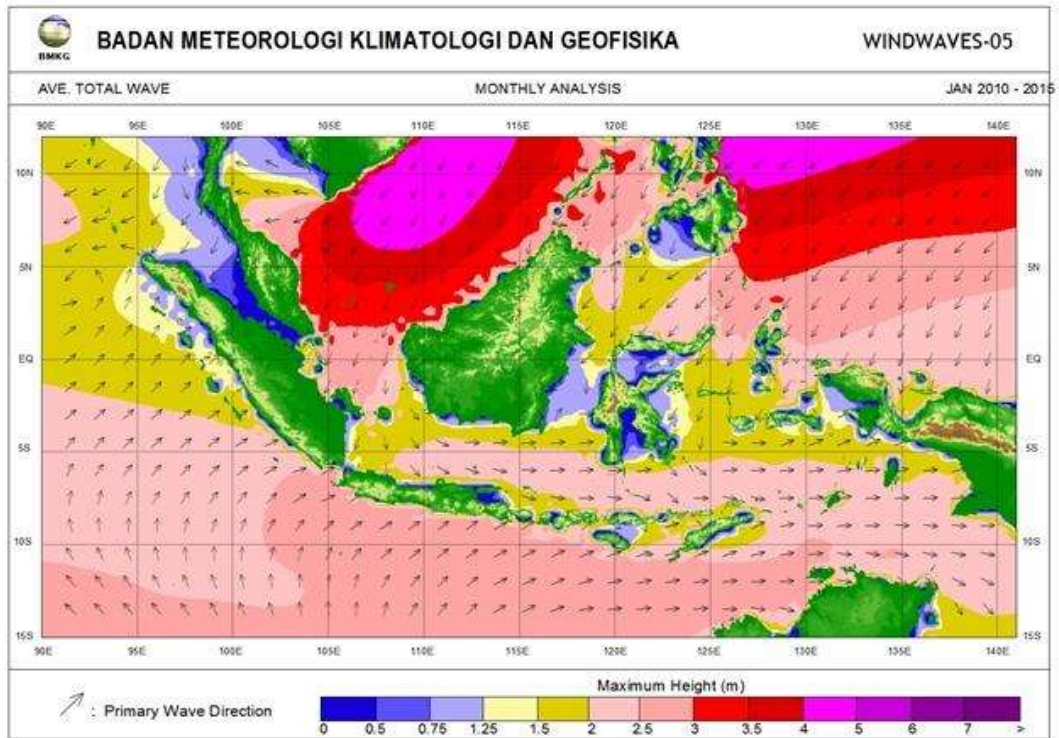
DAFTAR PUSTAKA

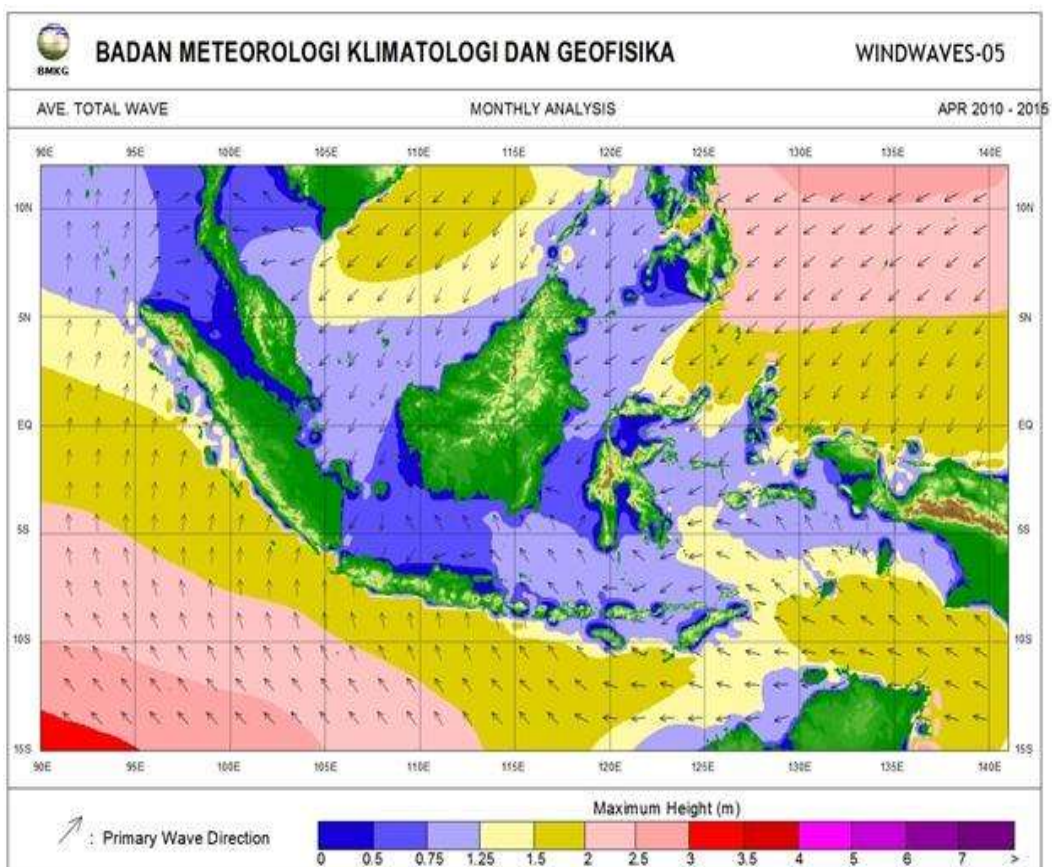
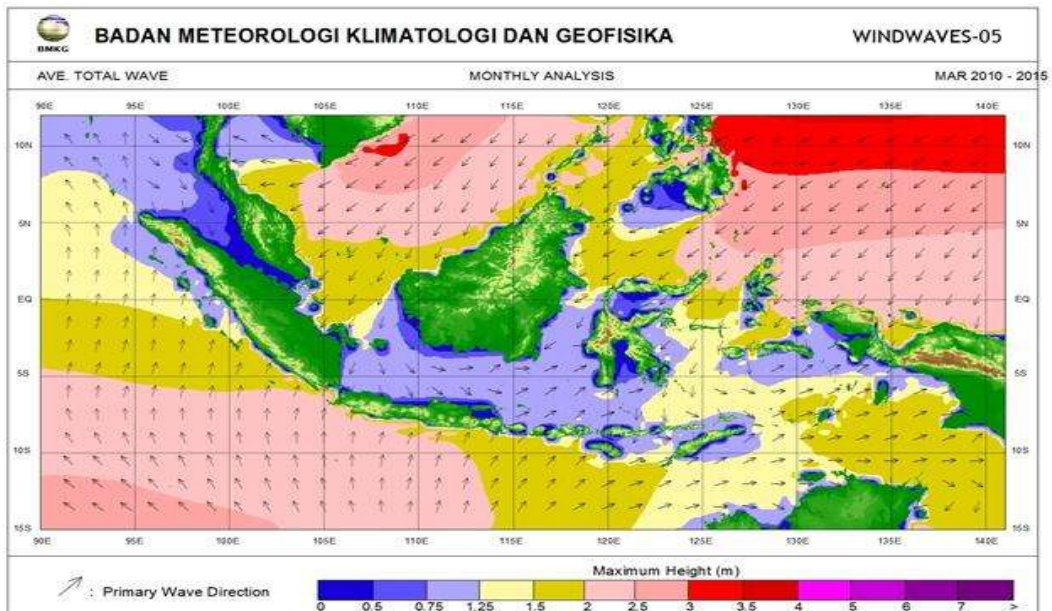
- [1] Ardita, M., Affandi, A., “Perancangan Terminal Komunikasi Data Terintegrasi untuk Jaringan Ad Hoc Vessel Messaging System (VMes), “Tesis S2 ITS”, 2010
- [2] “AX.25 Link Access Protocol for Amateur Packet Radio, Version 2.2”, American Radio Relay League (ARRL) and the Tucson Amateur Packet Radio Coporation (TAPR), 1998.
- [3] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika: Indonesia Tsunami Early Warning System (8 May 2015)
https://inatews.bmkg.go.id/new/tentang_tsunami.php
- [4] Chemtrols Samil (I) PVT, LTD., Magnetic Float Gauge Series Datasheet
- [5] Frick, H., Mekanika Teknik I, Penerbit Kanisius, Yogyakarta. 1979.
- [6] GITEWS www.gitews.org/en/modelling. (21 Maret 2016)
- [7] Georgiou, G., Clark, A.M., Zodiatis, G., Hayes, D., Glekas, D., Design of a Prototype Tsunami Warning and Early Response system for Cyprus - TWERC, Proc. Of IEEE. 2010
- [8] Graham B.B, “Using an Accelerometer Sensor to Measure Human Hand Motion”, Massachusetts Institute of Technology. 2000
- [9] Introduction to Wireless and Mobile Systems Third Edition [Dharma Prakash Agrawal & Qing-An Zeng] Copyright: Cengage Learning. 2011
- [10] Lestari, D.S., Setijadi, E., Suwadi, “Perancangan dan Implementasi Modulator FSK untuk Perangkat Transmitter Satelit ITS-SAT pada Frekuensi 436,915 MHz, Jurnal POMITS Vol.2, No.2, 2013
- [11] National Institute of Ocean Technology: Tsunami Buoy
<https://www.niot.res.in/index.php/node/index/130/> (21 Maret 2016)
- [12] National Institute of Ocean Technology: How does the Tsunami Warning System work? http://www.tsunami.noaa.gov/warning_system_works.html (12 Desember 2016)
- [13] NEAMTIC: Devices used for detecting a tsunami. <http://neamtic.ioc-unesco.org/what-to-know/tsunami-warning-system> (8 May 2015)
- [14] Nilandry, A., Yahya, H., Keajaiban Dalam Atom, Penerbit Dzikro, Bandung 2003
- [15] Pedley M, “Tilt Sensing Using a Three Axis Accelerometer”, Freescale Semiconductor Application Note, 2013
- [16] Prasetyo, D. W. Sumaryo, S. Husni, A., “Perancangan dan Implementasi Protokol AX.25 (Simplifield) pada MCS-51”, Prosiding Seminar Nasional Sistem dan Informatika. Bali, 16 November 2007.
- [17] Pricision Fluid Control, Pointer ® Magnetic Level Gauge Datasheet

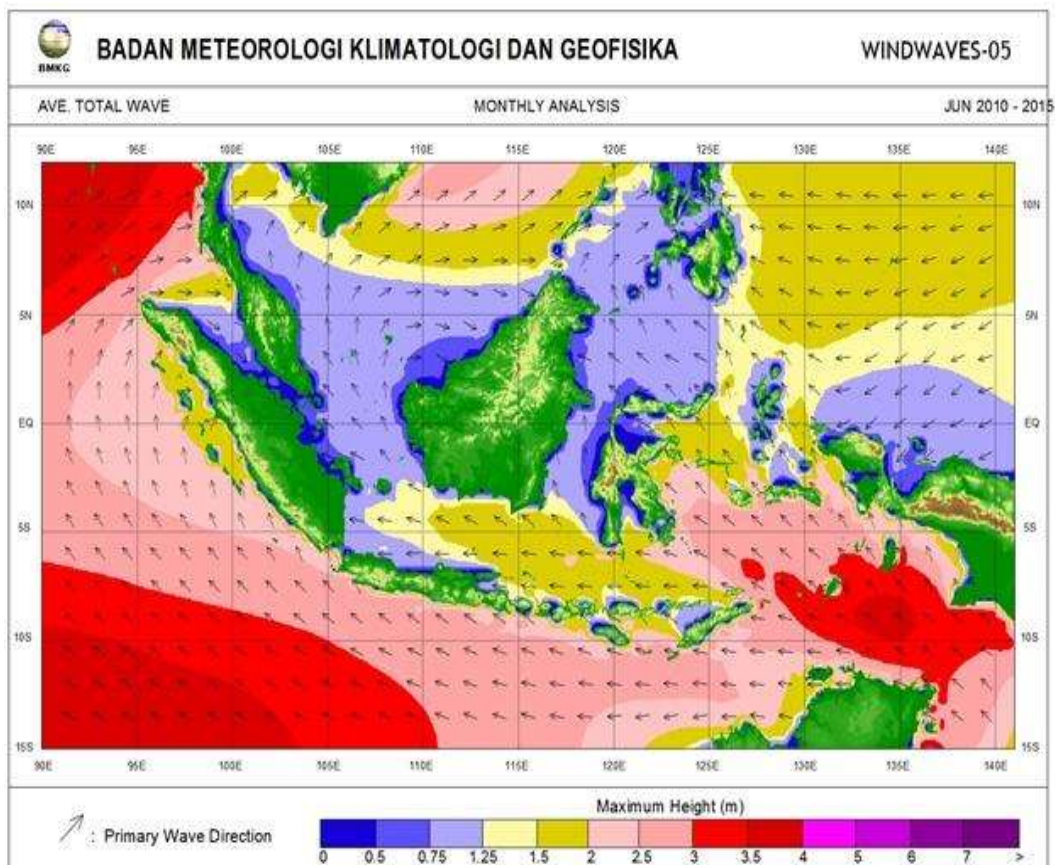
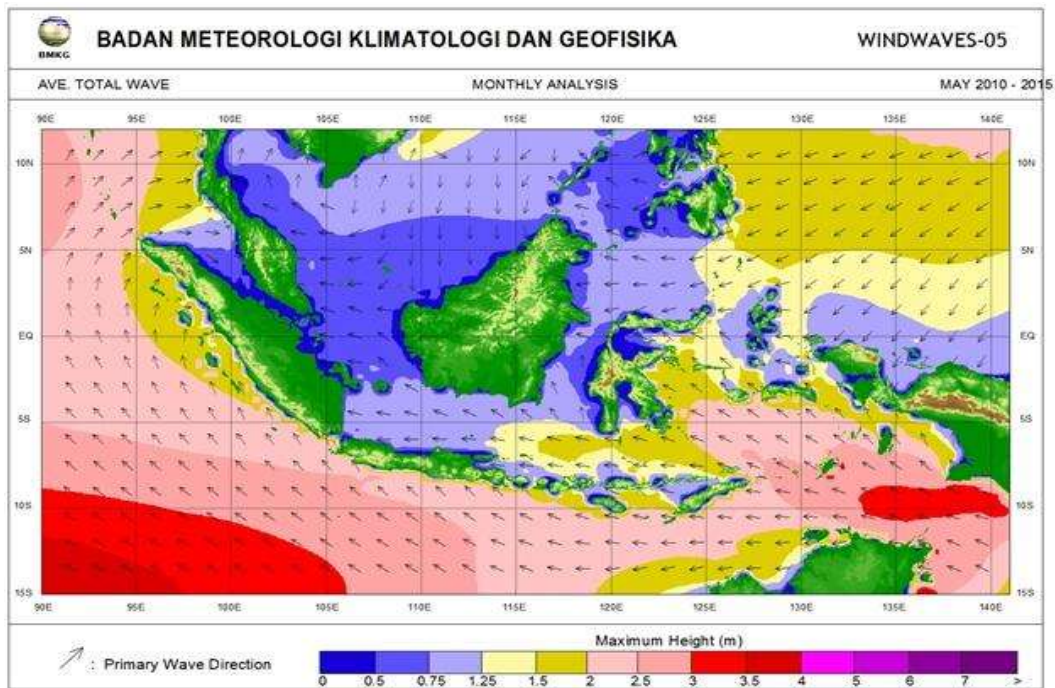
- [18] Pusat Jaring Kontrol Geodesi dan Geodinamika: Pantoloan.pdf
<http://tides.big.go.id> (3 Desember 2016)
- [19] R. Stosius, G. Beyerle, M. Semmling, A. Helm, A. Hoechner, J. Wickert, J. Lauterjung, Tsunami Detection From Space Using GNSS Reflections: Results and Activities from GFZ, Proc. Of IEEE. 2010
- [20] Stalling W., Komunikasi Data dan Komputer Buku I Edisi 8, Penerbit Salemba Infotek, Jakarta. 2011
- [21] Teruyuki Kato, Yukihiro Terada, Toshihiko Nagai, Shun'ichi Koshimura, Tsunami Monitoring System Using GPS Buoy –Present Status and Outlook-, IGARS 2010, IEEE. 2010
- [22] Tsunami: The Deadliest Wave, Edisi Spesial Majalah Angkasa, Gramedia 2005
- [23] Z.Shijo, R.Srinivasan, T.Thamarai, G.A. Ramadass, and M.A. Atmanand, Design of an Advanced Accoustic Tide Gauge For Tsunami Monitoring, OCEAN 2011 IEEE. 2011

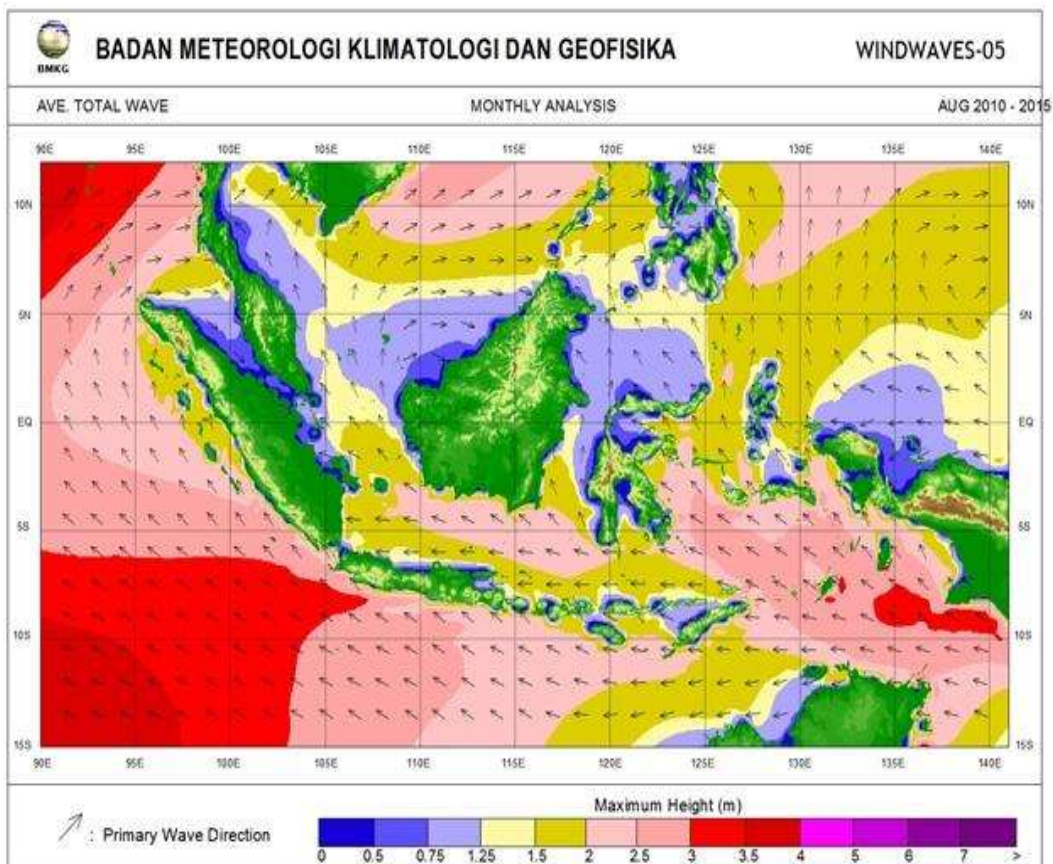
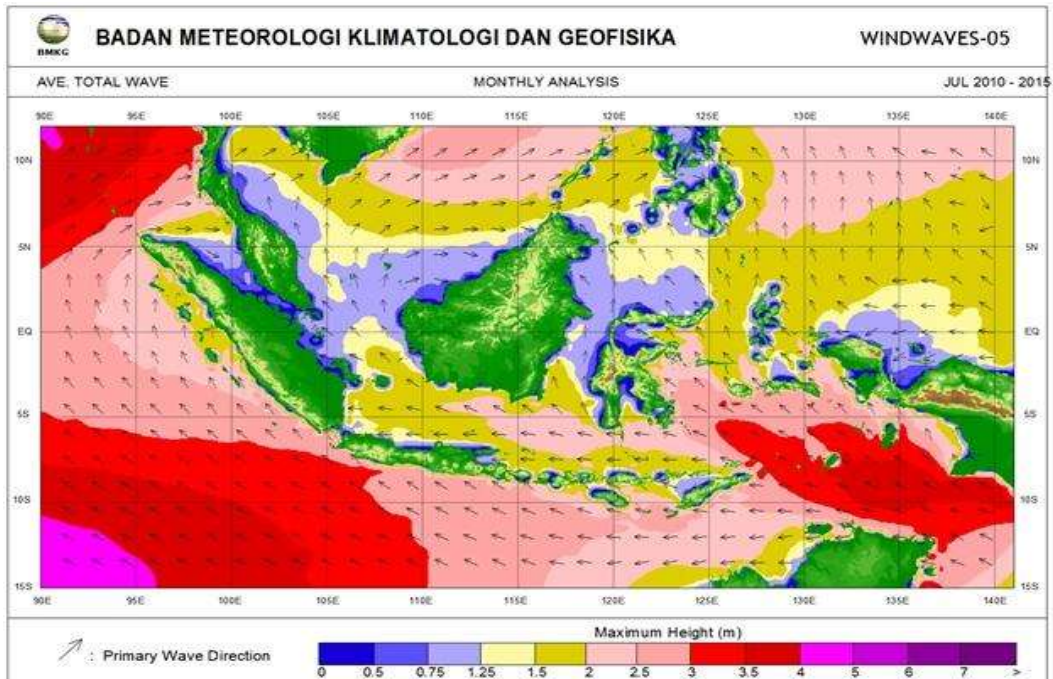
LAMPIRAN

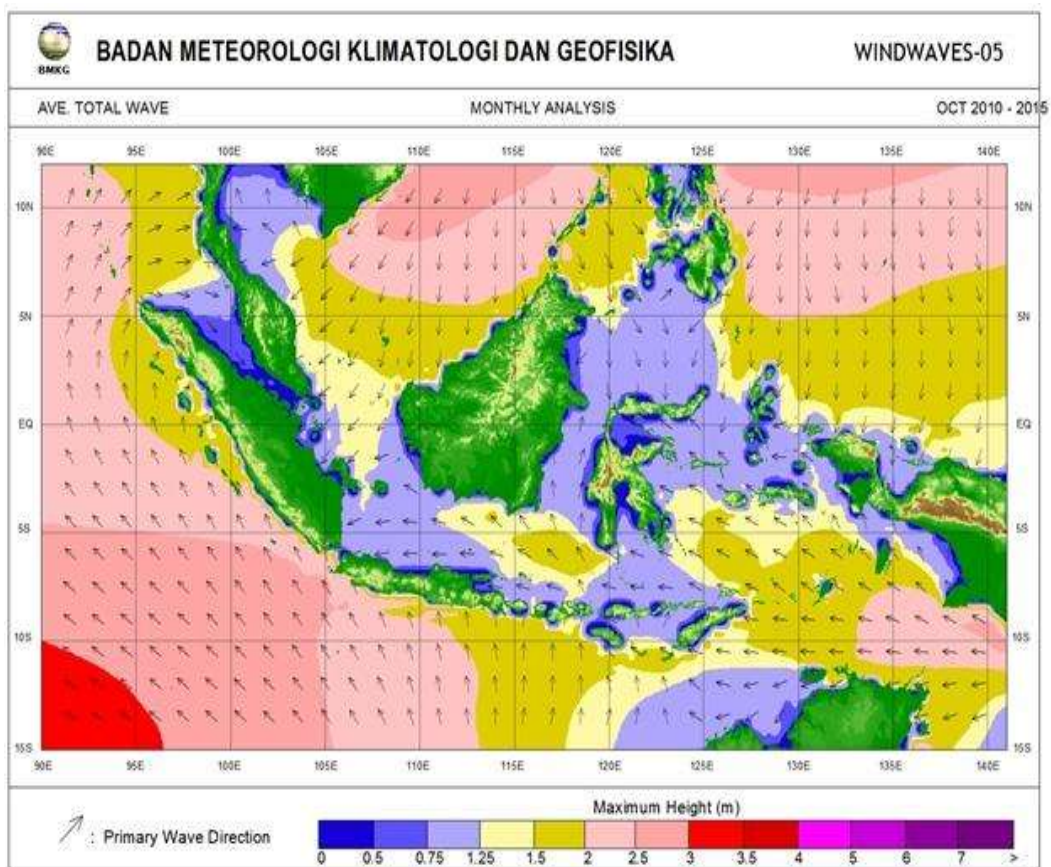
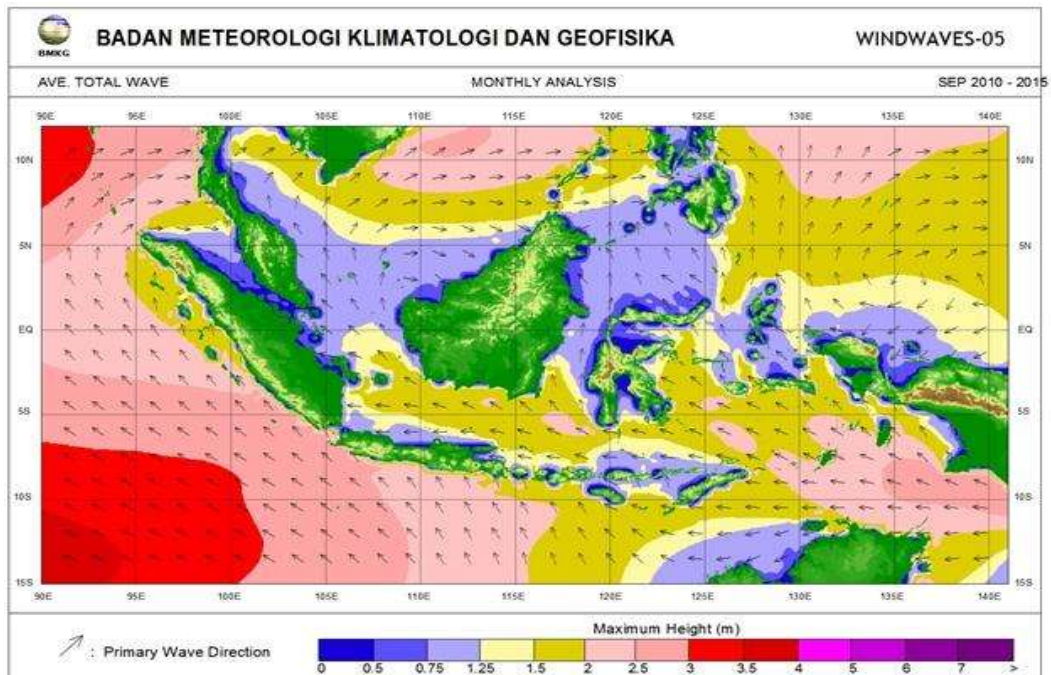
1. Data Ketinggian Gelombang Laut Periode Tahun 2010 – 2015

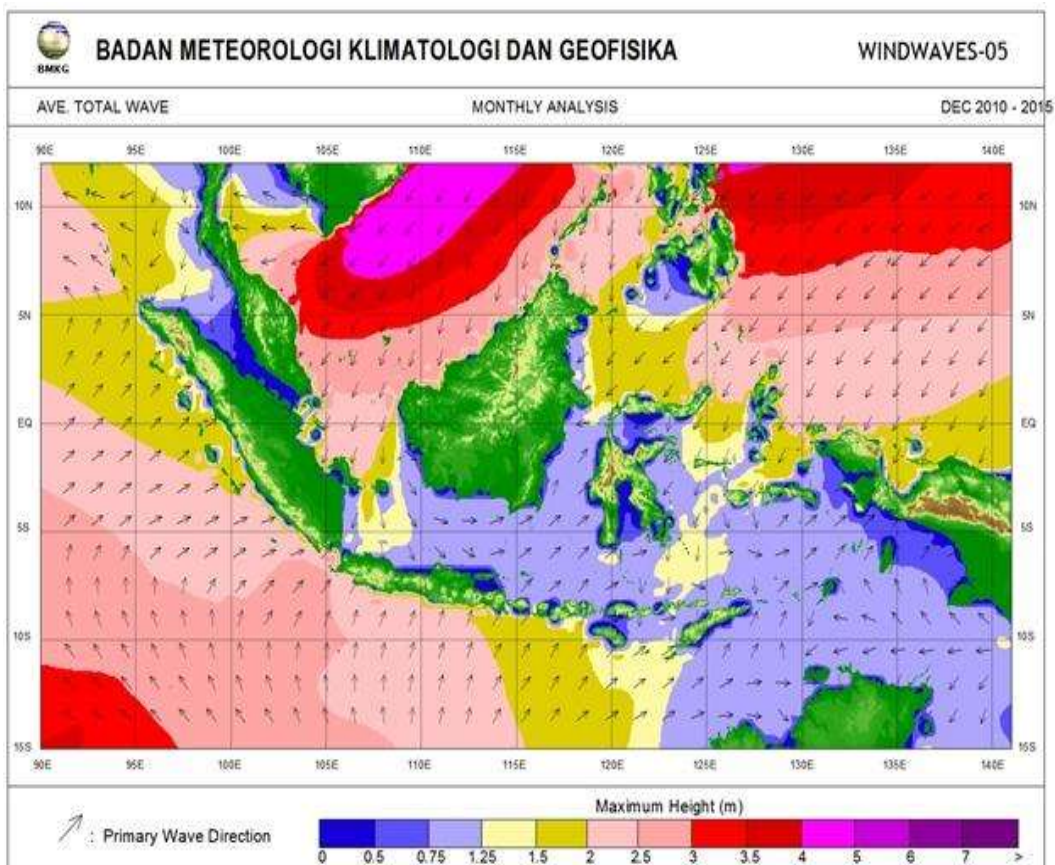
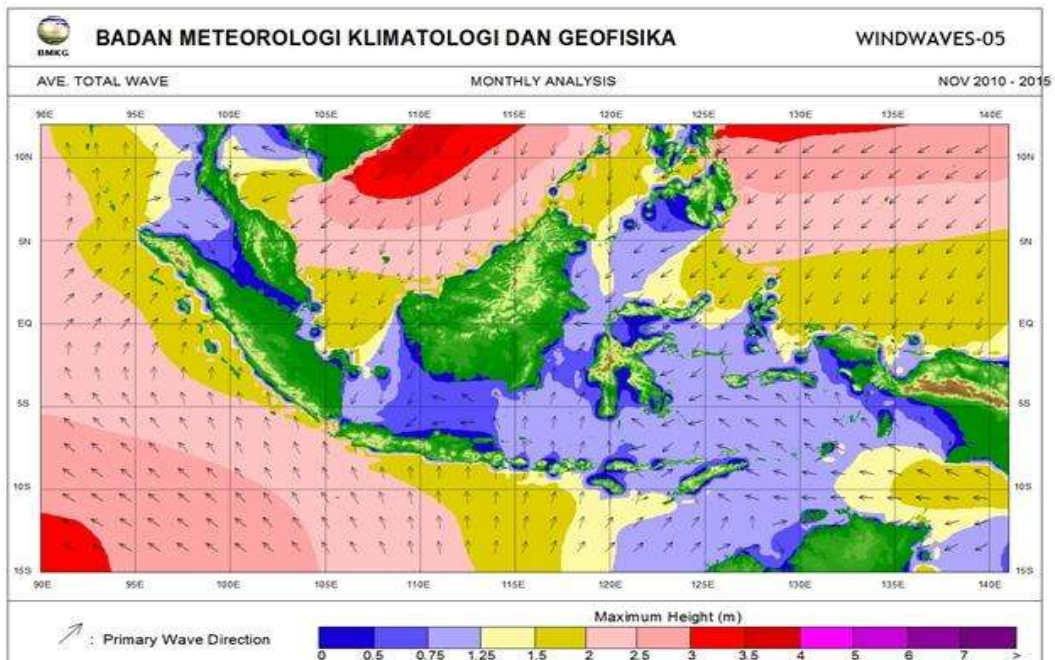








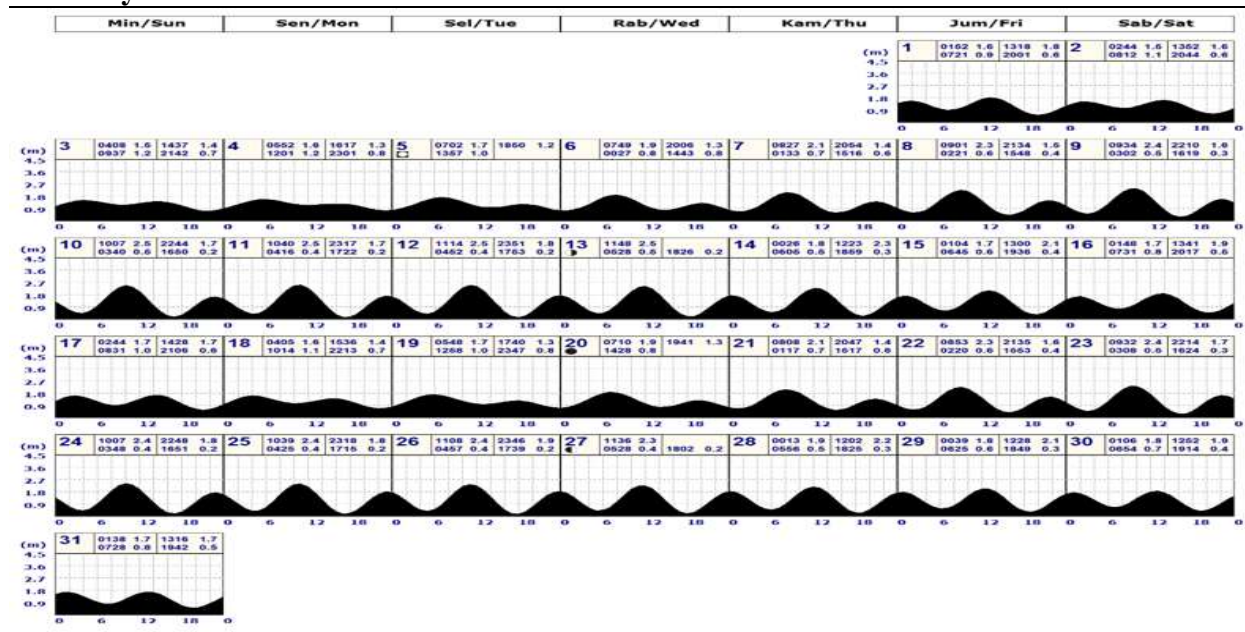




2. Data Prakiraan Pasang Surut Air Laut Pantoloan 2016

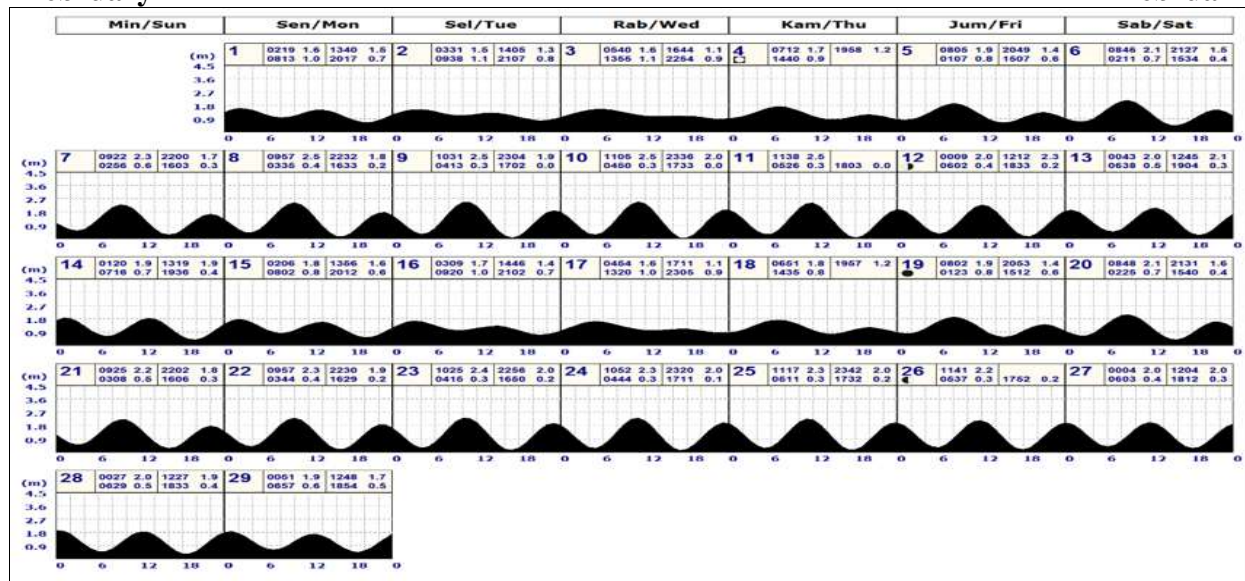
January

Januari



February

Februari



- ☐ : Full Moon
- : New Moon
- ◐ : First Quarter
- ◑ : Last Quarter

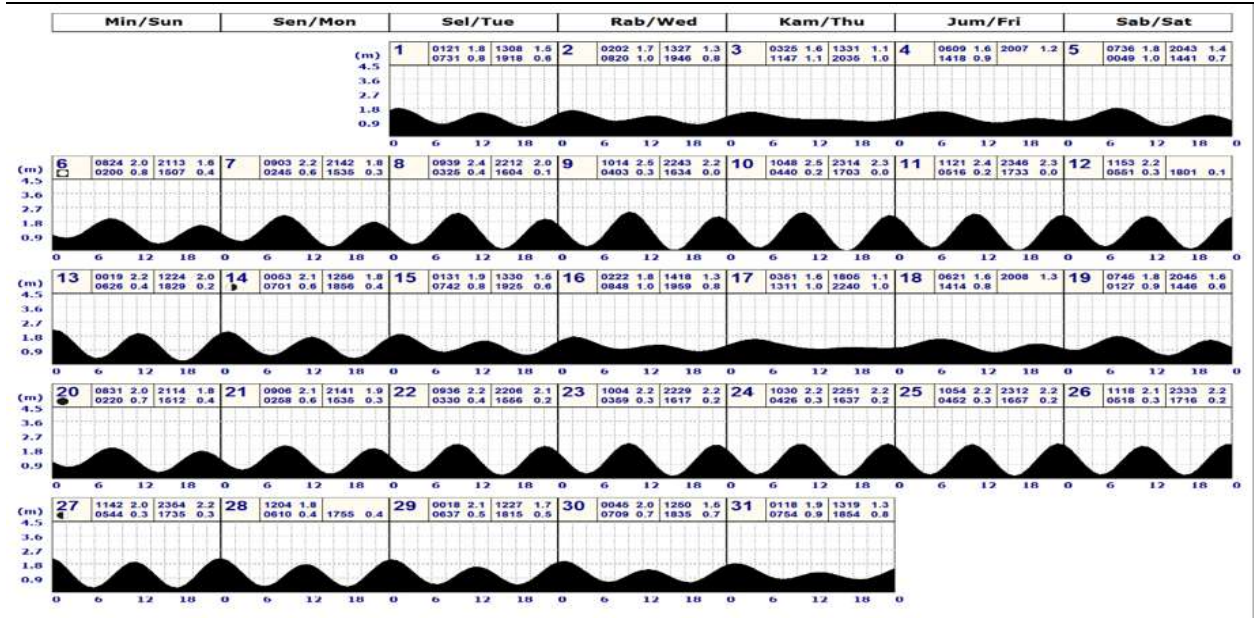
Copyright BADAN INFORMASI GEOSPASIAL, 2016

Disclaimer:
These tide prediction are supplied in good faith and believed to be correct
No warranty is given in respect to errors, omissions, or suitability for any purpose



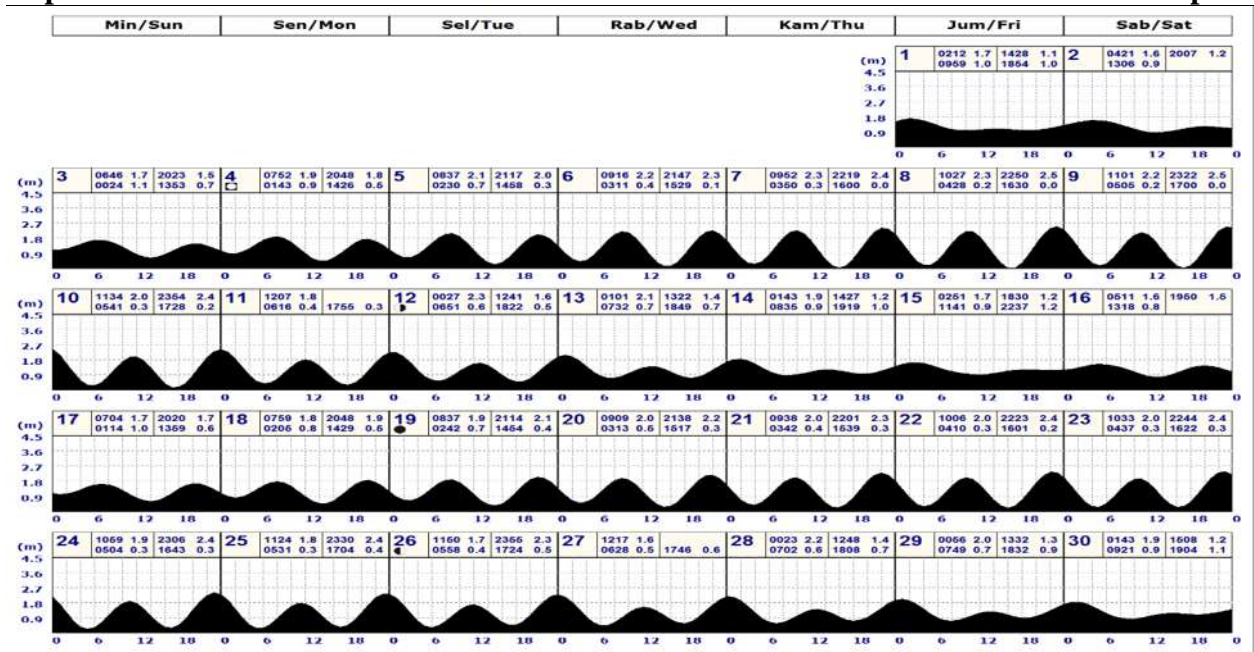
March

Maret



April

April



: Full Moon



: New Moon



: First Quarter



: Last Quarter

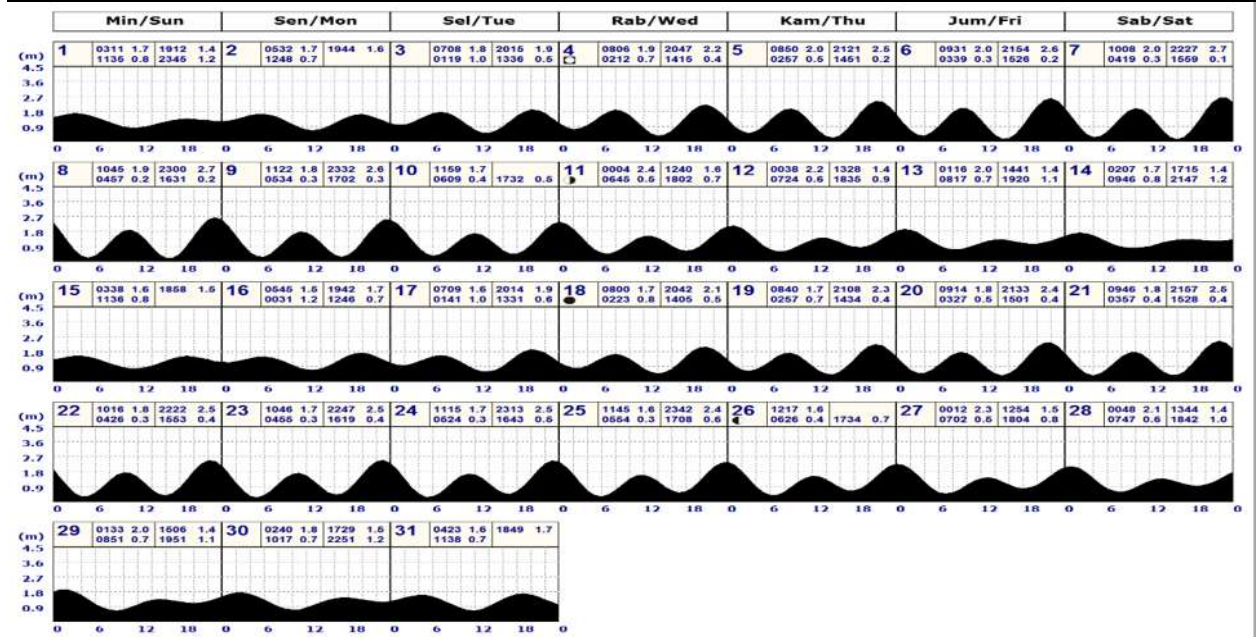
Copyright BADAN INFORMASI GEOSPASIAL, 2016

Disclaimer:
These tide prediction are supplied in good faith and believed to be correct
No warranty is given in respect to errors, omissions, or suitability for any purpose



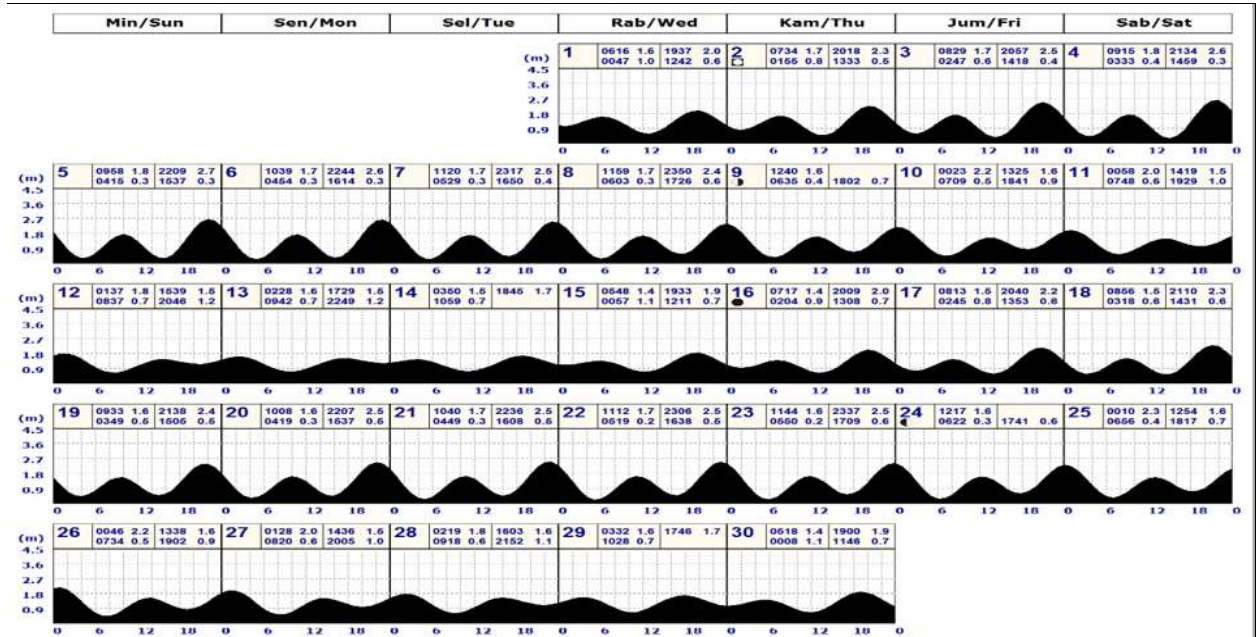
May

Mei



June

Jun



- ☐ : Full Moon
- : New Moon
- ◐ : First Quarter
- ◑ : Last Quarter

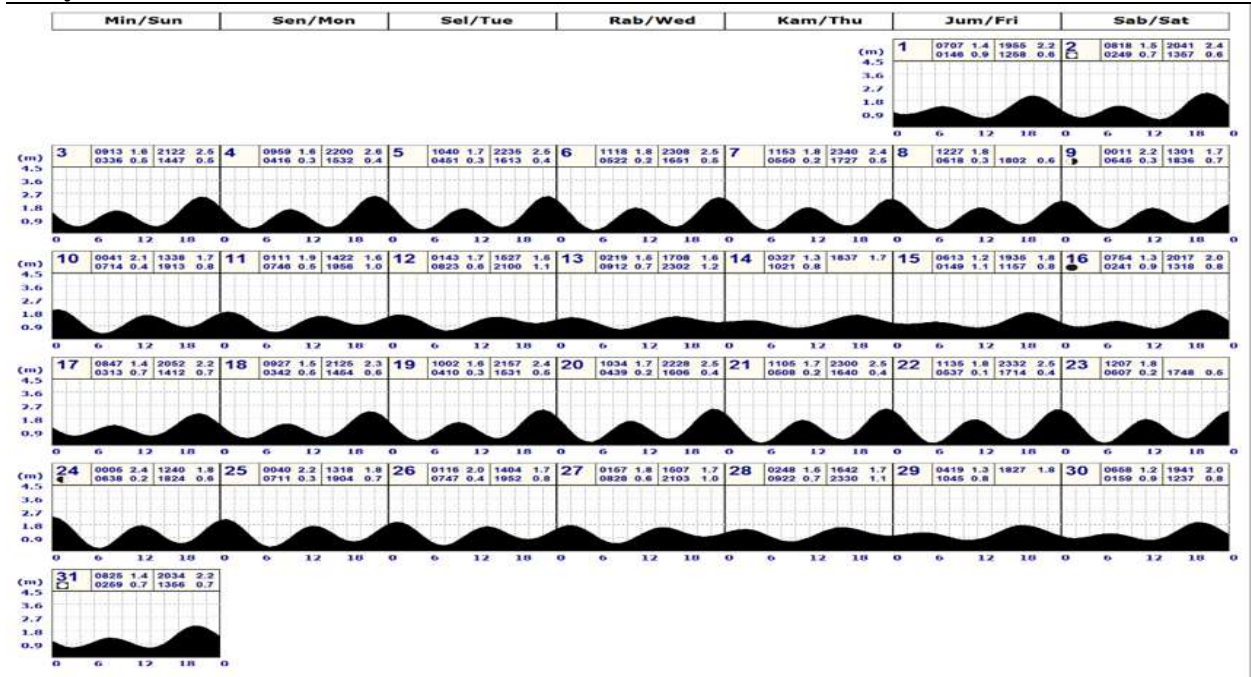
Copyright BADAN INFORMASI GEOSPASIAL, 2016

Disclaimer:
These tide prediction are supplied in good faith and believed to be correct
No warranty is given in respect to errors, omissions, or suitability for any purpose



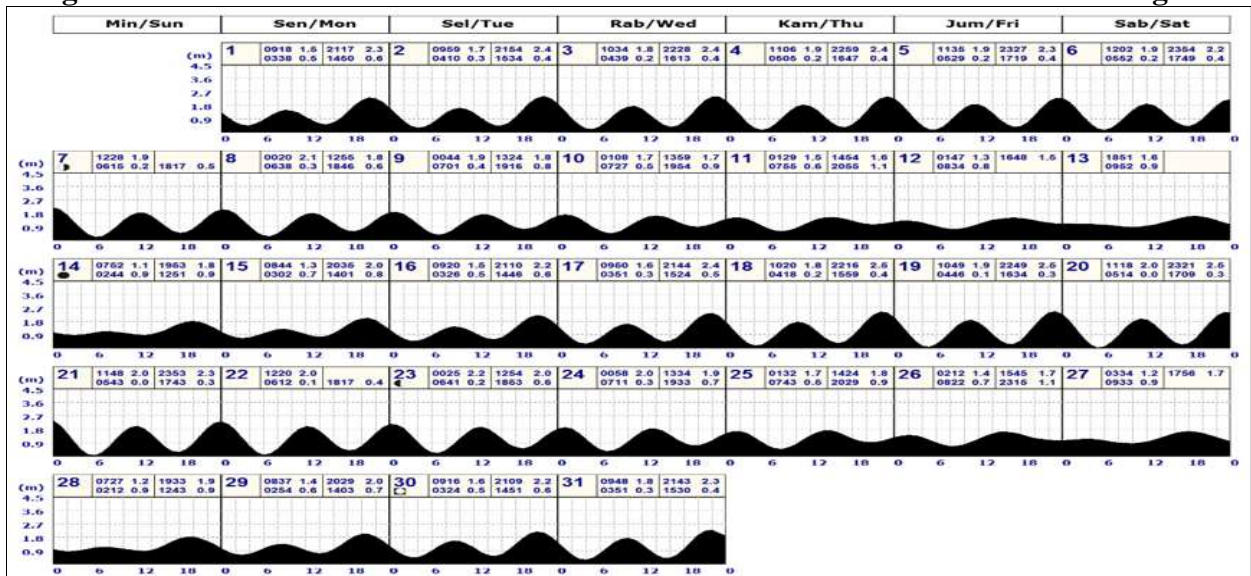
July

Juli



August

Agustus



: Full Moon



: New Moon



: First Quarter



: Last Quarter

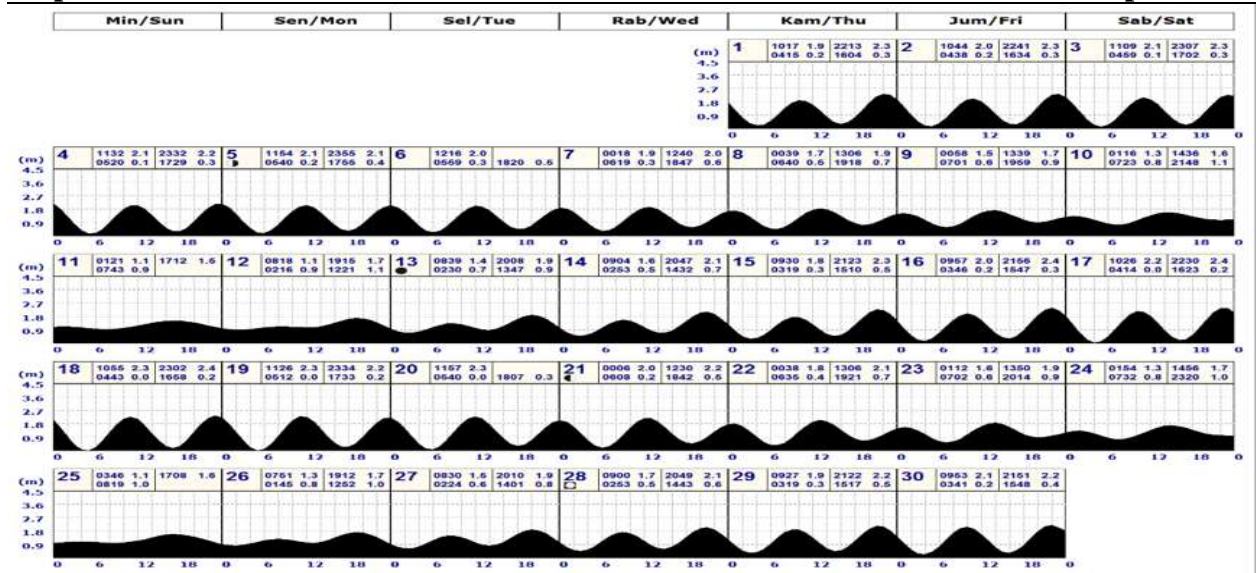
Copyright BADAN INFORMASI GEOSPASIAL, 2016

Disclaimer:
These tide prediction are supplied in good faith and believed to be correct
No warranty is given in respect to errors, omissions, or suitability for any purpose



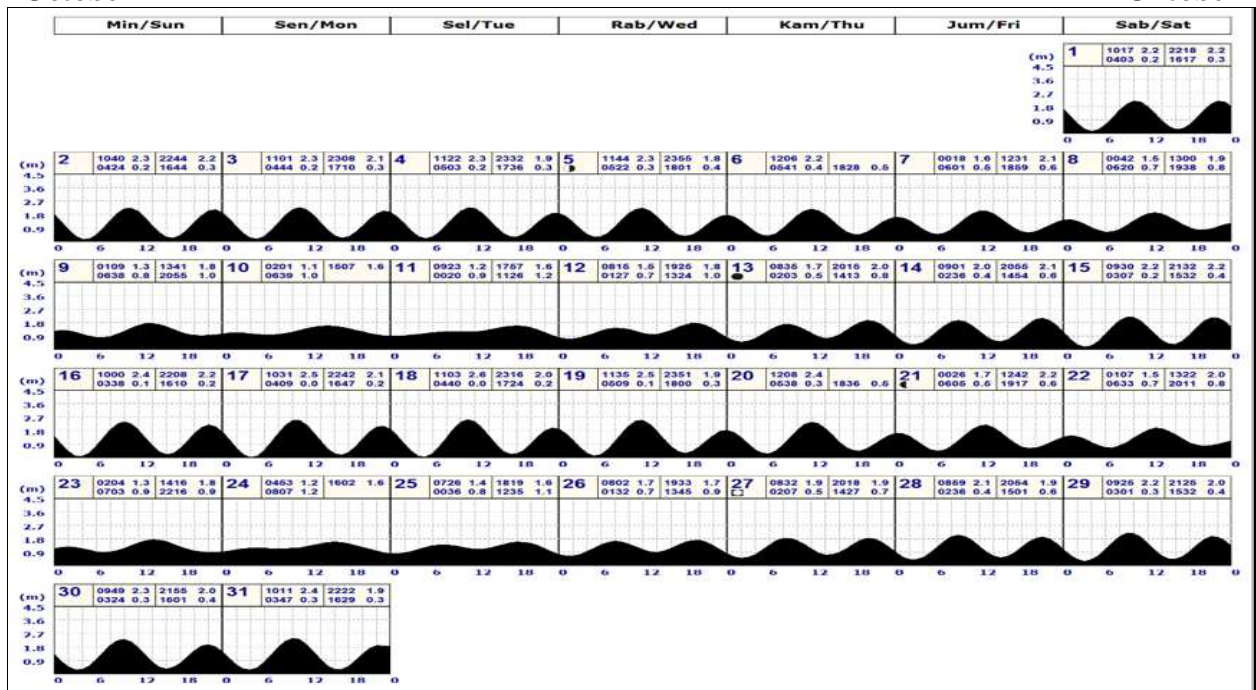
September

September



October

Oktober



- ☐ : Full Moon
- : New Moon
- ◐ : First Quarter
- ◑ : Last Quarter

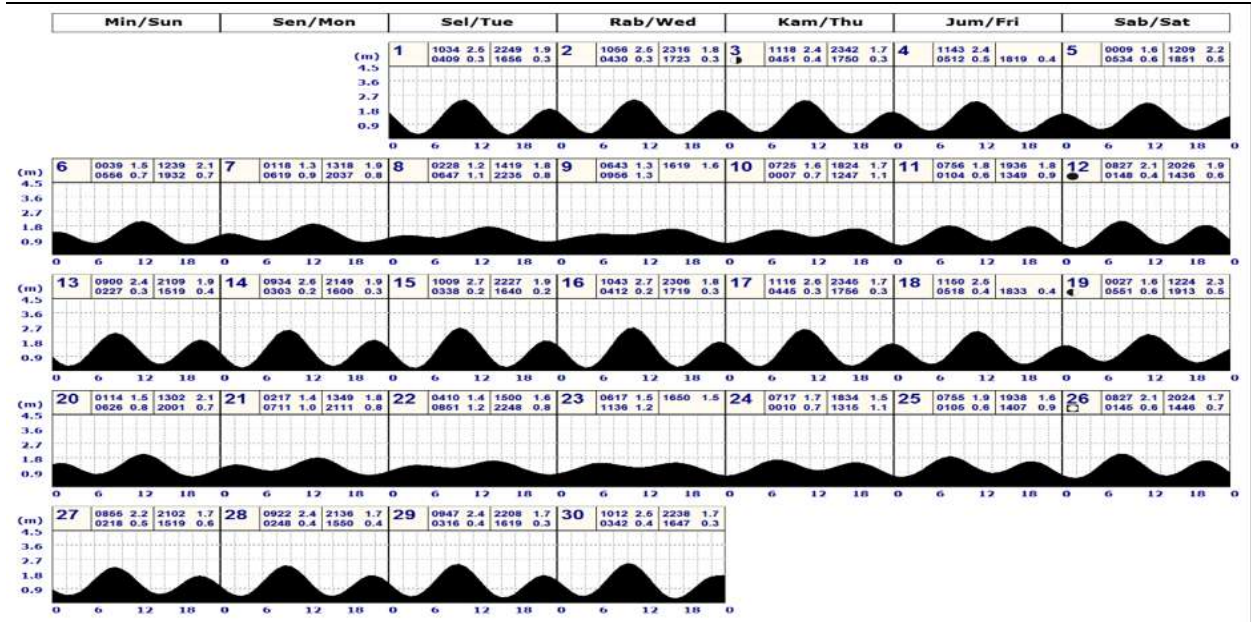
Copyright BADAN INFORMASI GEOSPASIAL, 2016

Disclaimer:
These tide prediction are supplied in good faith and believed to be correct
No warranty is given in respect to errors, omissions, or suitability for any purpose



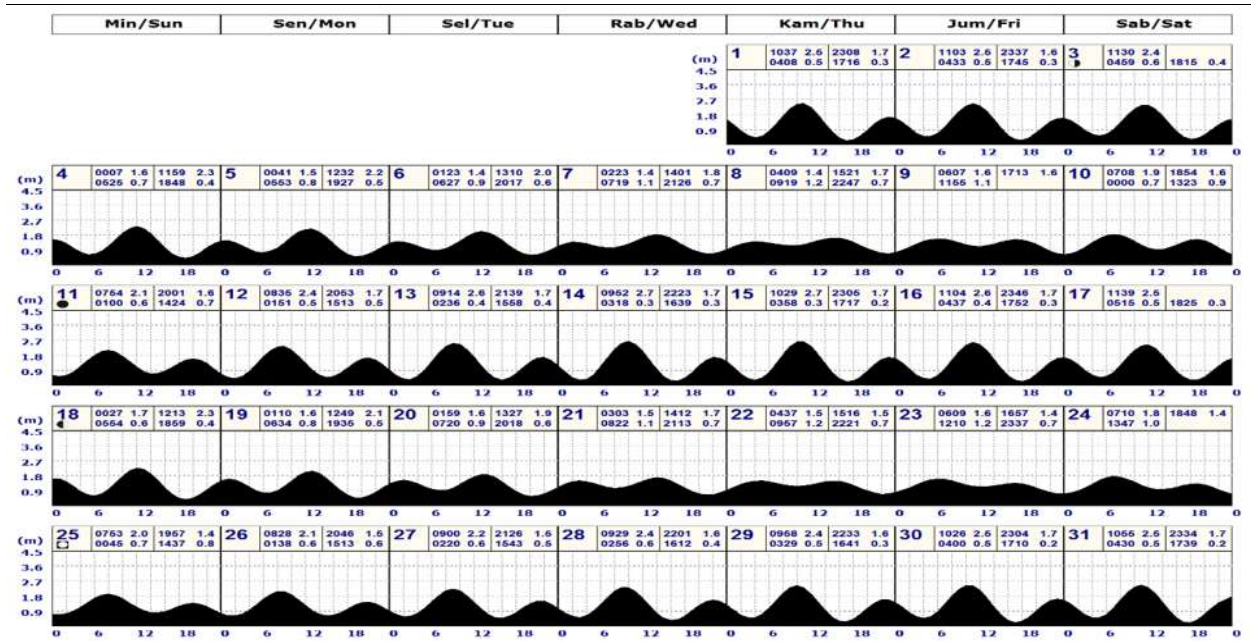
November

November



December

Desember



: Full Moon



: New Moon



: First Quarter



: Last Quarter

Copyright BADAN INFORMASI GEOSPASIAL, 2016

Disclaimer:

These tide prediction are supplied in good faith and believed to be correct
No warranty is given in respect to errors, omissions, or suitability for any purpose



3. Listing Program Tranceiver Pada Buoy

```
//transmitter

#include <Wire.h>

#define CTRL_REG1 0x20
#define CTRL_REG2 0x21
#define CTRL_REG3 0x22
#define CTRL_REG4 0x23
#define pin_adc A0    //bisa dirubah-rubah tergantung milih pin analog yang mana

int Addr = 105; //I2C address of Accelero
int x,y,z;
int data_adc;
int adc;

void setup()
{
    // put your setup code here, to run once:
    Wire.begin();
    Serial.begin(9600);
    writeI2C(CTRL_REG1, 0x1F);
    writeI2C(CTRL_REG3, 0x08);
    writeI2C(CTRL_REG4, 0x80);
    delay(500);
}

void loop()
{
    // put your main code here, to run repeatedly:
    //data_adc=analogRead(pin_adc);
    //adc=map(data_adc,0,1023,0,502.5);
    void GetAcceleroValues ();
    SendData(x);
    SendSign(x);
    Serial.print(",");
    SendData(y);
    SendSign(y);
    Serial.print(",");
```

```

    SendData(z);
    SendSign(z);
    Serial.print(",");
    data_adc=analogRead(pin_adc);
    adc=map(data_adc,0,1023,0,193.5);
    SendDataADC(adc);
    Serial.print("\n");
    delay(4000);
}

```

```

void SendSign(int data)
{
    int s;
    if(data<0){s=0;}
    else if(data>=0){s=1;}
    Serial.print(s);
}

```

```

void SendData(int val)
{

```

```

    int d,val1,val2,val3;
    d=abs(val);
    val1=d/100;
    val2=d/10%10;
    val3=d%10;
    Serial.print(val1);
    Serial.print(val2);
    Serial.print(val3);

```

```

    Serial.print((abs(val)/114),DEC);
}

```

```

void SendDataADC(int v)
{

```

```

    int d,v1,v2,v3,v4;
    //d=abs(v);
    v1=v/1000;
    v2=v/100%10;
    v3=v/10%10;
    v4=v%10;

```



```

    Serial.print(v1);
    Serial.print(v2);
    Serial.print(v3);
    Serial.print(v4);
    //Serial.print((abs(v)/114),DEC);
}
void GetAccelerometerValues ()
{

    byte MSB, LSB;

    MSB = readI2C(0x29);
    LSB = readI2C(0x28);
    x = ((MSB << 8) | LSB);

    MSB = readI2C(0x2B);
    LSB = readI2C(0x2A);
    y = ((MSB << 8) | LSB);

    MSB = readI2C(0x2D);
    LSB = readI2C(0x2C);
    z = ((MSB << 8) | LSB);

}
int readI2C (byte regAddr)
{
    Wire.beginTransmission(Addr);
    Wire.write(regAddr);
    Wire.endTransmission();
    Wire.requestFrom(Addr, 1);
    while(!Wire.available()){ };
    return(Wire.read());
}
void writeI2C (byte regAddr, byte val)
{
    Wire.beginTransmission(Addr);
    Wire.write(regAddr);
    Wire.write(val);
    Wire.endTransmission();
}

```

4. Listing Program Tranceiver Di Daratan

```
//receiver
const int DangerPin = 13;
void setup()
{
    pinMode(13, OUTPUT);
    Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
    while(Serial.available()>0)
    {
        int value1 = Serial.parseInt();
        int value2 = Serial.parseInt();
        int value3 = Serial.parseInt();
        int value4 = Serial.parseInt();
        if(Serial.read()=='\n')
        {
            int x= GetAccelerometerValues (value1);
            int y= GetAccelerometerValues (value2);
            int z= GetAccelerometerValues (value3);
            int data_adc=value4;
            Serial.print(value1);
            Serial.print(value2);
            Serial.print(value3);
            SendDataADC(value4*2);
            Serial.print("\n");
        }
    }
}

void SendDataADC(int v)
{
    int d,v1,v2,v3,v4;
    d=abs(v);
    v1=v/1000;
    v2=v/100%10;
```

```

    v3=v/10%10;
    v4=v%10;
    Serial.print(v1);
    Serial.print(v2);
    Serial.print(v3);
    Serial.print(v4);
}
void Danger (int y)
{
    int y;
    if(y<200)
    {
        digitalWrite(DangerPin, LOW);
        Serial.print ("Normal");
    }
    else if(y>=200)
    {
        digitalWrite(DangerPin, HIGH);
        Serial.print ("DANGER");
    }
}

```

5. Listing Program Tampilan Interface

```

Public x, y1, a1, b1, c1 As Integer
Public y2, a2, b2, c2 As Integer
Public p, q, r, d_analog As Single
Public serdata As String

Private Sub cmdstart_Click()
    If cmdstart.Caption = "START" Then
        x = 0
        y1 = Picture1.Height
        a1 = Picture1.Height
        b1 = Picture1.Height
        c1 = Picture1.Height
        Picture1.Cls
        cmdstart.Caption = "STOP"
        p = 0
        q = 0
        r = 0
    End If
End Sub

```

```

MSComm1.CommPort = Val(cbocom.Text)
cbocom.Enabled = False
MSComm1.PortOpen = True
ElseIf cmdstart.Caption = "STOP" Then
    cmdstart.Caption = "START"
    MSComm1.PortOpen = False
    cbocom.Enabled = True
End If
End Sub

Private Sub MSComm1_OnComm()
    MSComm1.InBufferCount = 0
    If MSComm1.CommEvent = comEvReceive Then
        While (MSComm1.InBufferCount < 16)
            DoEvents
        Wend
        Text1.Text = MSComm1.Input
        If Mid(Text1.Text, 4, 1) = "0" Then
            txtax.Text = -1 * Val(Mid(Text1.Text, 1, 3))
        Else
            txtax.Text = Val(Mid(Text1.Text, 1, 3))
        End If

        If Mid(Text1.Text, 8, 1) = "0" Then
            txtay.Text = -1 * Val(Mid(Text1.Text, 5, 3))
        Else
            txtay.Text = Val(Mid(Text1.Text, 5, 3))
        End If

        If Mid(Text1.Text, 12, 1) = "0" Then
            txtaz.Text = -1 * Val(Mid(Text1.Text, 9, 3))
        Else
            txtaz.Text = Val(Mid(Text1.Text, 9, 3))
        End If
        txtaanalog.Text = Val(Mid(Text1.Text, 13, 4))

        p = Val(txtax.Text) / 50          'rumus x axis dari adc ke ketinggian sumbu x
        q = Val(txtay.Text) / 50          'rumus y axis dari adc ke ketinggian sumbu y
        r = Val(txtaz.Text) / 50          'rumus z axis dari adc ke ketinggian sumbu z
        d_analog = Val(txtaanalog.Text) * 1 'rumus data analog dari adc ke data sensor pasang
    End Sub
End Sub

```

surut

```

txtx.Text = Round(p, 2)
txty.Text = Round(q, 2)
txtz.Text = Round(r, 2)
txtanalog.Text = Round(d_analog, 2)

If x = 12000 Then
    Picture1.Cls
    x = 0
End If

y2 = 4800 - Val(txtx.Text) * 200
a2 = 4800 - Val(txty.Text) * 200
b2 = 4800 - Val(txtz.Text) * 200
c2 = 4800 - Val(txtanalog.Text) * 100

Picture1.Line (x, y1)-(x + 40, y2), vbRed
Picture1.Line (x, a1)-(x + 40, a2), vbGreen
Picture1.Line (x, b1)-(x + 40, b2), vbBlue
Picture1.Line (x, c1)-(x + 40, c2), vbCyan

y1 = y2
a1 = a2
b1 = b2
c1 = c2
x = x + 40
End If
End Sub

Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
    If MSComm1.PortOpen = True Then
        MSComm1.PortOpen = False
    End If
End Sub

Private Sub Form_Load()
    Dim i As Integer
    For i = 1 To 25
        Load Line1(i)
        Line1(i).X1 = 0
        Line1(i).X2 = Picture1.Width
    
```

```

    Line1(i).y1 = i * 400
    Line1(i).y2 = i * 400
    Line1(i).Visible = True
    Label9(i).Top = (i - 1) * 400
    Label9(i).Left = 0
Next i
For i = 26 To 55
    Load Line1(i)
    Line1(i).X1 = (i - 26) * 400 + 400
    Line1(i).X2 = (i - 26) * 400 + 400
    Line1(i).y1 = 0
    Line1(i).y2 = Picture1.Height
    Line1(i).Visible = True
    Label9(i).Top = 9600
    Label9(i).Left = (i - 25) * 400
Next i
x = 0
y1 = Picture1.Height
a1 = Picture1.Height
b1 = Picture1.Height
End Sub

```

6. Contoh Tampilan Hasil Pengujian

START

SETTING

COM7

DATA

X AXIS	90	1.8
Y AXIS	117	2.34
Z AXIS	-228	-4.56
PASANG SURUT	90	90

90611722280090

START

SETTING

COM7

DATA

X AXIS	21	0.42
Y AXIS	811	16.22
Z AXIS	-233	-4.66
PASANG SURUT	54	54

21181172330054

START

SETTING

COM 7

DATA

X AXIS	22	0.44
Y AXIS	922	18.44
Z AXIS	-213	-4.26
PASANG SURUT	122	122

22792282130122

START

SETTING

COM 7

DATA

X AXIS	-15	-0.3
Y AXIS	70	1.4
Z AXIS	736	14.72
PASANG SURUT	150	150

015070273670150

START

SETTING

COM 7

DATA

X AXIS	101	2.02
Y AXIS	63	1.26
Z AXIS	231	4.62
PASANG SURUT	186	186

101863423110186

START

SETTING

COM 7

DATA

X AXIS	182	3.64
Y AXIS	841	16.82
Z AXIS	311	6.22
PASANG SURUT	182	182

182841231170182

START

SETTING

COM

7

DATA

X AXIS	401	8.02
Y AXIS	-71	-1.42
Z AXIS	281	5.62
PASANG SURUT	137	137

401371028140137

START

SETTING

COM

7

DATA

X AXIS	701	14.02
Y AXIS	41	0.82
Z AXIS	311	6.22
PASANG SURUT	184	184

701841231170184

START

SETTING

COM

7

DATA

X AXIS	400	8
Y AXIS	-11	-0.22
Z AXIS	281	5.62
PASANG SURUT	90	90

400911028140090

START

SETTING

COM

7

DATA

X AXIS	-90	-1.8
Y AXIS	65	1.3
Z AXIS	930	18.6
PASANG SURUT	65	65

090065193090065

START

SETTING

COM 7

DATA

X AXIS	700	14
Y AXIS	72	1.44
Z AXIS	182	3.64
PASANG SURUT	47	47

700472318270047

START

SETTING

COM 7

DATA

X AXIS	4	0.08
Y AXIS	16	0.32
Z AXIS	-311	-6.22
PASANG SURUT	46	46

00461623110046

START

SETTING

COM 7

DATA

X AXIS	-601	-12.02
Y AXIS	42	0.84
Z AXIS	182	3.64
PASANG SURUT	104	104

601042318260104

START

SETTING

COM 7

DATA

X AXIS	500	10
Y AXIS	32	0.64
Z AXIS	132	2.64
PASANG SURUT	63	63

500632813250063

START

SETTING

COM 7

DATA

X AXIS	17	0.34
Y AXIS	19	0.38
Z AXIS	-315	-6.3
PASANG SURUT	174	174

01751923150174

START

SETTING

COM 7

DATA

X AXIS	16	0.32
Y AXIS	43	0.86
Z AXIS	-820	-16.4
PASANG SURUT	162	162

01624318200162

START

SETTING

COM 7

DATA

X AXIS	702	14.04
Y AXIS	21	0.42
Z AXIS	131	2.62
PASANG SURUT	254	254

702521613170254

START

SETTING

COM 7

DATA

X AXIS	501	10.02
Y AXIS	31	0.62
Z AXIS	451	9.02
PASANG SURUT	193	193

501931945150193

START

SETTING

COM 7

DATA

X AXIS	1	0.02
Y AXIS	25	0.5
Z AXIS	-170	-3.4
PASANG SURUT	162	162

00162521700162

START

SETTING

COM 7

DATA

X AXIS	702	14.04
Y AXIS	26	0.52
Z AXIS	-317	-6.34
PASANG SURUT	222	222

70222623170222

START

SETTING

COM

7

DATA

X AXIS	-904	-18.08
Y AXIS	68	1.36
Z AXIS	-904	-18.08
PASANG SURUT	68	68

90400689040068

START

SETTING

COM

7

DATA

X AXIS	250	5
Y AXIS	4	0.08
Z AXIS	-225	-4.5
PASANG SURUT	104	104

25010472250104

START

SETTING

COM 7

DATA

X AXIS	32	0.64
Y AXIS	117	2.34
Z AXIS	-749	-14.98
PASANG SURUT	32	32

03211777490032

START

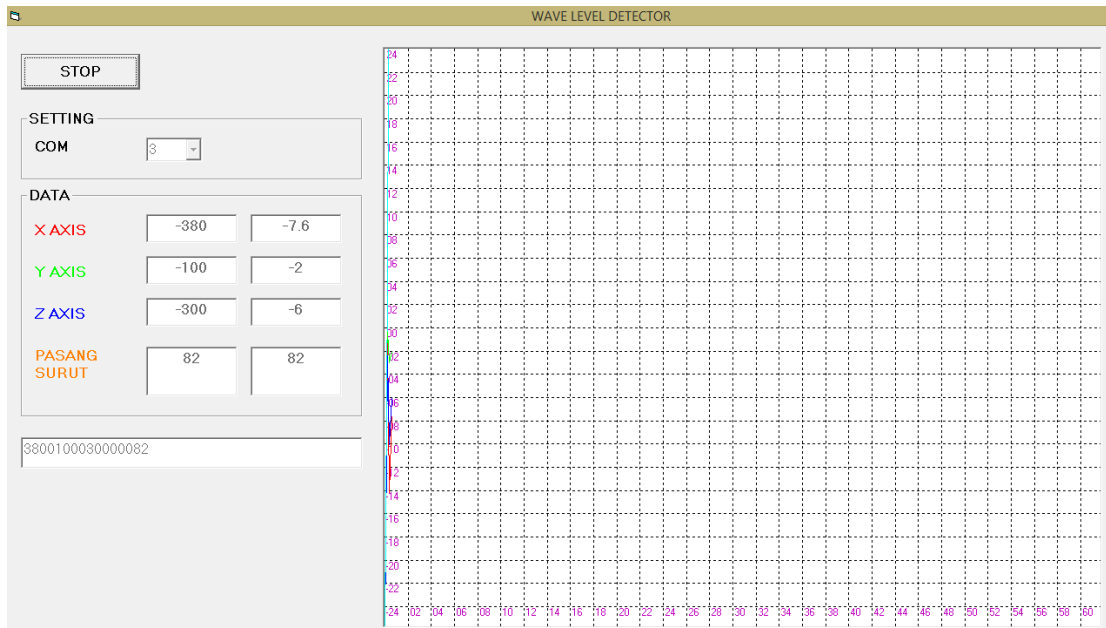
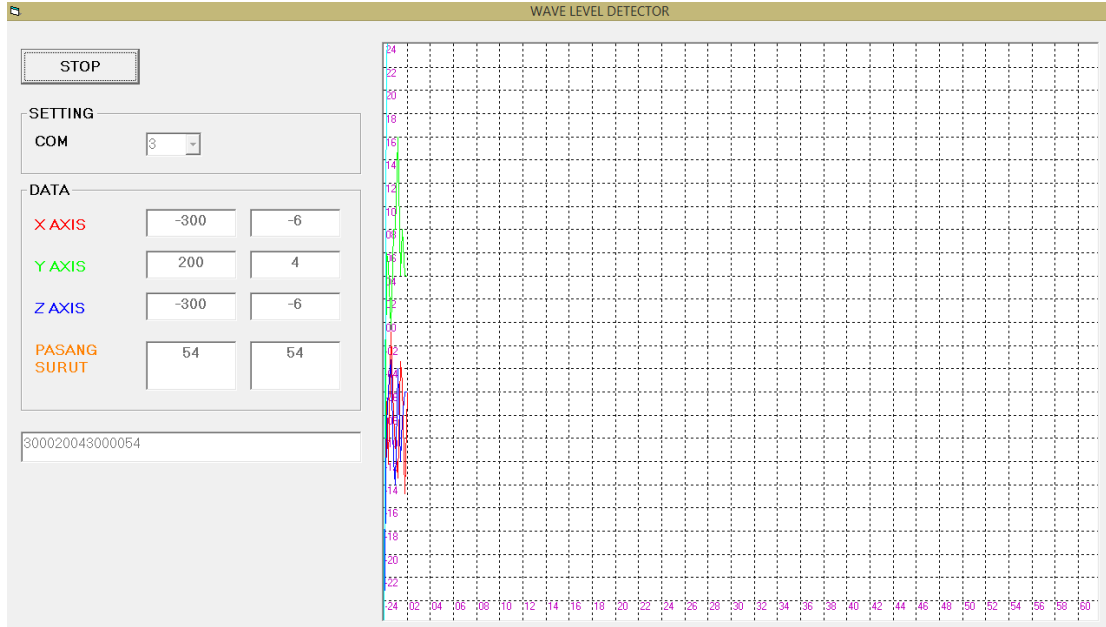
SETTING

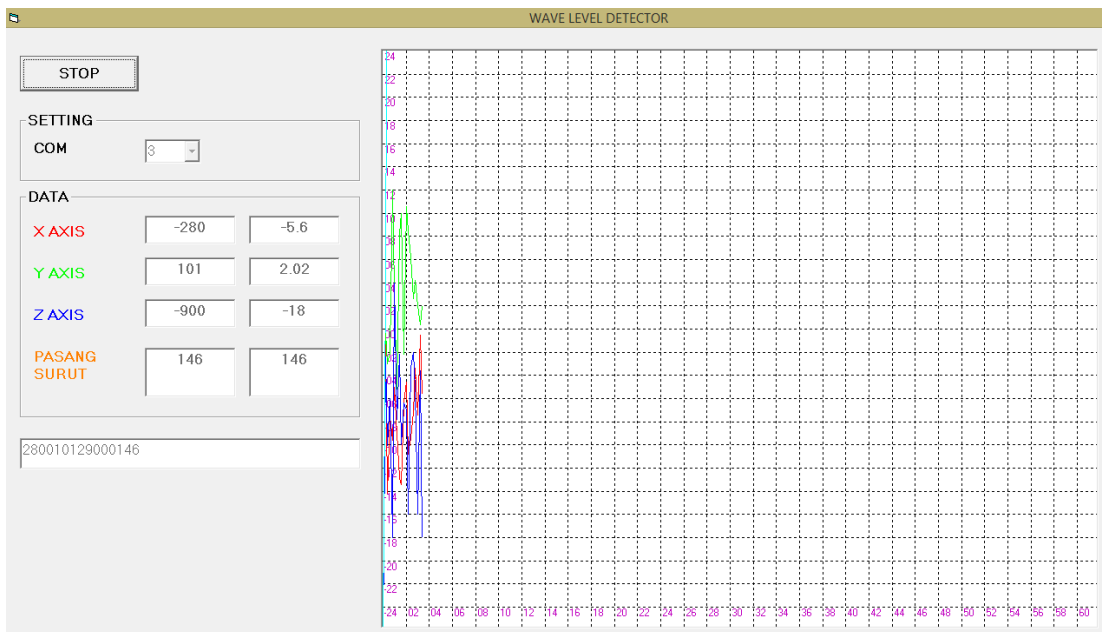
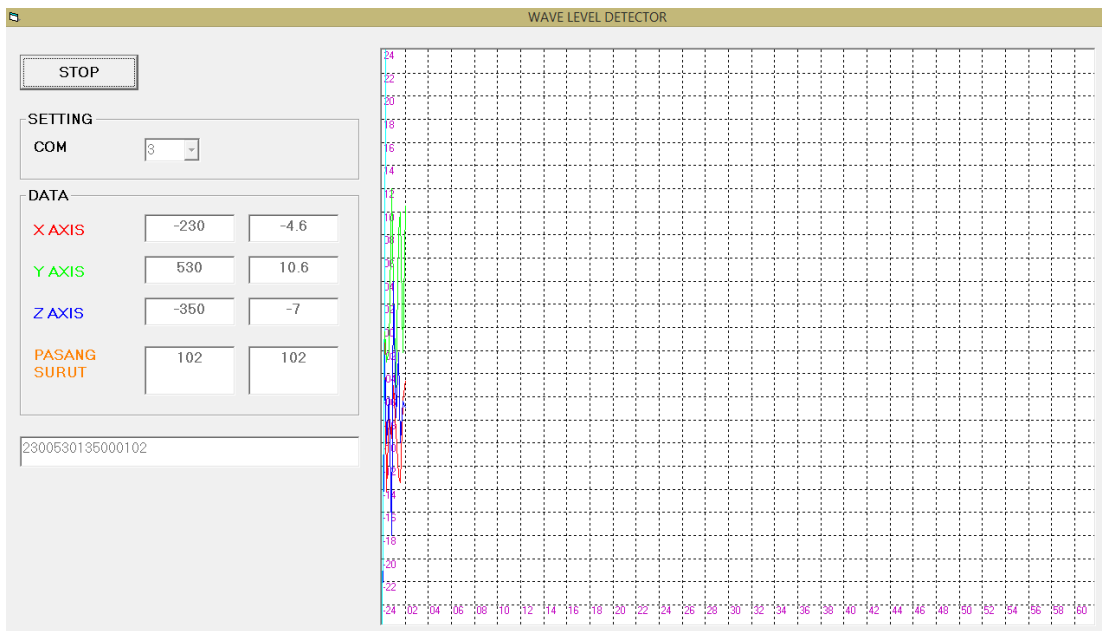
COM 7

DATA

X AXIS	81	1.62
Y AXIS	739	14.78
Z AXIS	-228	-4.56
PASANG SURUT	38	38

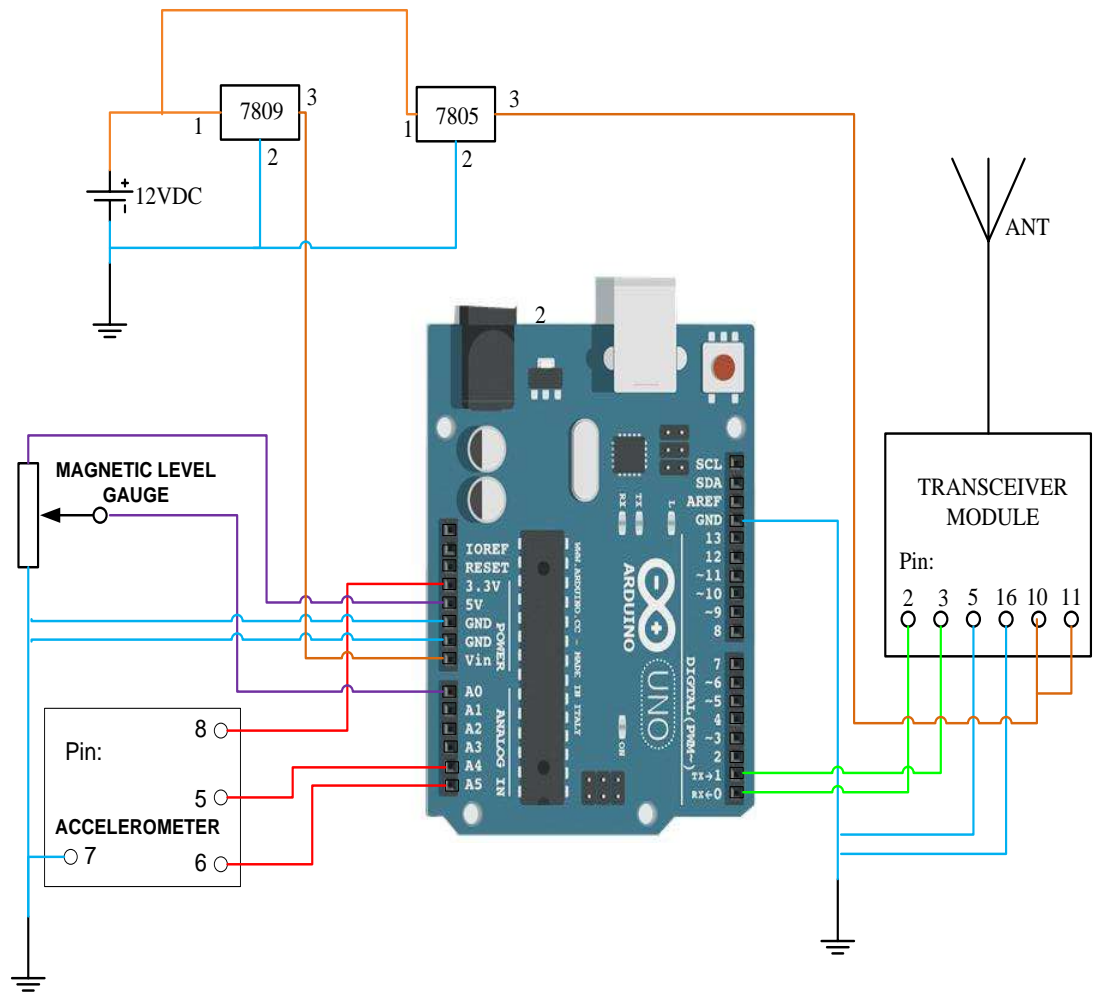
81173942280038



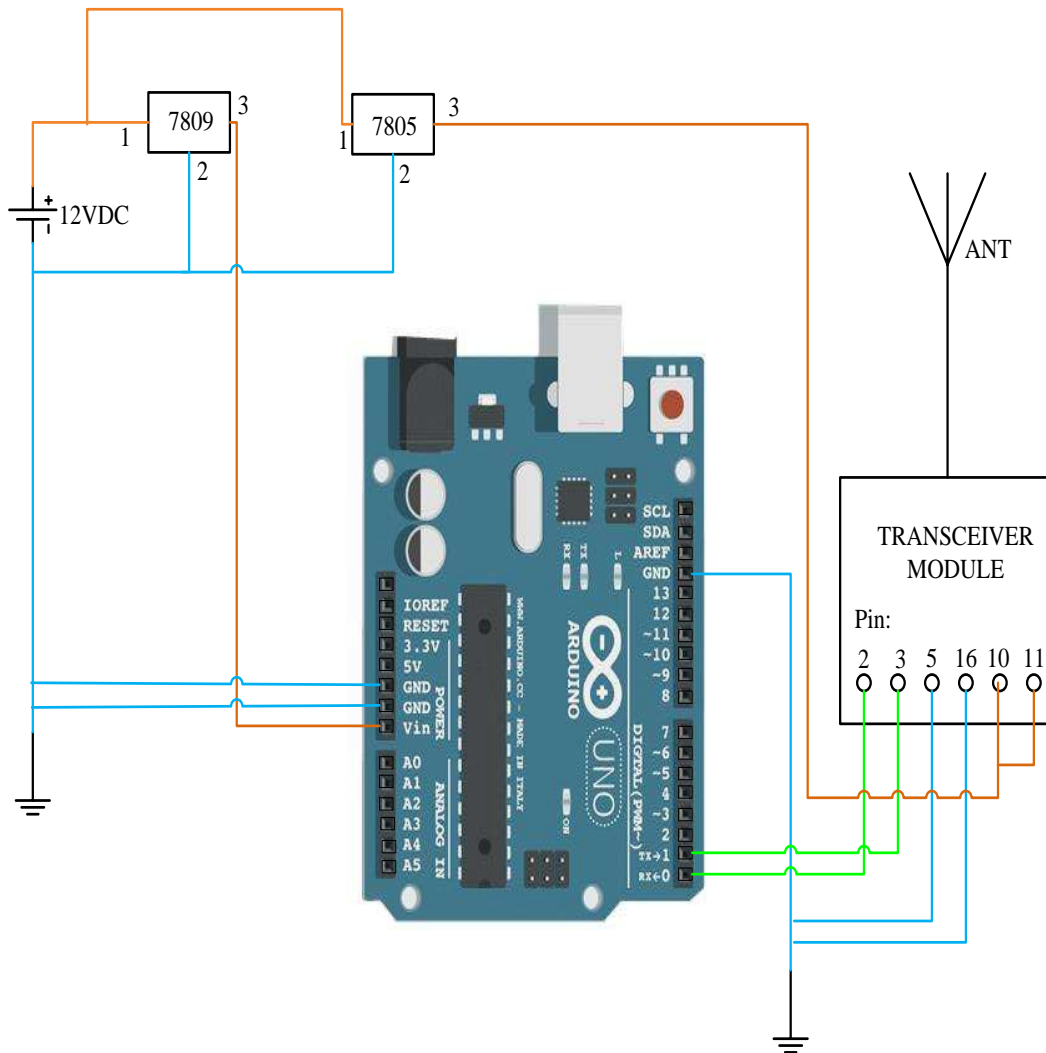


7. Skema Rangkaian

a. Skema Transmitter



b. Skema Receiver



RIWAYAT HIDUP



Miranty, lahir di Palu, 10 Februari 1991. Putri pertama dari dua bersaudara dari pasangan Dr. Drs. Saparuddin, M.Kes dan Rahmawati ini menyelesaikan pendidikan S1 di Universitas Tadulako Palu, Jurusan Teknik Elektro dengan Bidang Konsentrasi Teknik Elektronika pada tahun 2013.

Peneliti bisa dihubungi di
miranty_antz407@gmail.com